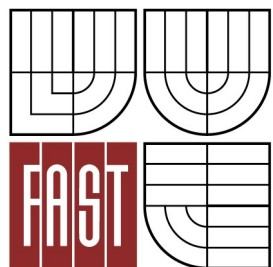




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ ZIMNÍHO STADIONU

ICE HOCKEY STADIUM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. VOJTĚCH CHALUPA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN BARNAT, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. VOJTĚCH CHALUPA


Název Zastřešení zimního stadionu

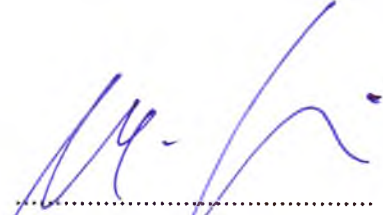
Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Barnat, Ph.D.

**Datum zadání
diplomové práce** 31. 3. 2013

**Datum odevzdání
diplomové práce** 17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013


.....
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu


.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] ČSN EN 1990- Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991- Zatížení konstrukcí
- [3] ČSN EN 1993- Navrhování ocelových konstrukcí
- [4] Melcher J., Straka B.: Kovové konstrukce- Konstrukce průmyslových budov, SNTL Praha 1985

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

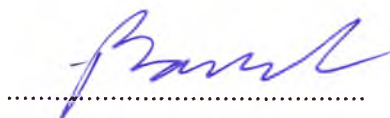
Vypracujte návrh nosné ocelové konstrukce zastřešení zimního stadionu umístěného v lokalitě města Žďár nad Sázavou. Minimální zastavěná půdorysná plocha je zadána rozměry 40x70 m. Pro nosnou konstrukci použijte prioritně ocel S355 nebo vyšší pevnosti. Koncepti nosného systému zpracujte ve dvou variantách s přibližným řešením a výhodnější variantu zpracujte detailně. Vypracujte statický výpočet hlavních nosných částí konstrukce včetně řešení směrných detailů pro zvolenou variantu. Vypracujte technickou zprávu a výkresovou dokumentaci v rozsahu specifikovaném vedoucím práce. Z výkresové dokumentace se předpokládá: dispoziční výkresy, plán kotvení, výkresy směrných detailů a konstrukční výkres vybraných nosných prvků.

Popisná data (vkládá student před odevzdáním práce)

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Jan Barnat, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Cílem diplomové práce je návrh zastřešení zimního stadionu umístěného v lokalitě města Žďár nad Sázavou. Půdorysné rozměry haly jsou 55 m x 77 m. Konstrukční výška haly je 10 - 17 m. Zastřešení je navrženo jako soustava sedlových příhradových vazníků z trubkových profilů o rozpětí 55 m uložených na sloupech. Vazníky jsou přes předepnutá lana zavěšeny na nosný oblouk o rozpětí 96 m a vzepětí 29 m. Pro určení vnitřních sil na prutech bylo použito statického softwaru SCIA Engineer a poté bylo provedeno ruční posouzení.

Klíčová slova

návrh ocelové konstrukce, zastřešení zimního stadionu, příhradový vazník, nosný oblouk, předpjatý závěs, svařovaný spoj, šroubový spoj, vnitřní síly

Abstract

The aim of this diploma thesis is the design of the roofing of an ice hockey stadium situated in Žďár nad Sázavou. Plan view dimensions are 55 m x 77 m. The structural height of the roof varies from 10 to 17 m. The roof itself consists of pipe truss girders with a span of 55 m, which are supported by columns on each side. The girders are suspended by a load-carrying arch with a span of 96 m and a camber of 29 m through a system of pre-stressed cables. To determine the internal forces, structural analysis software Scia Engineer was used. Individual elements were then manually designed.

Keywords

steel structure design, ice hockey stadium roofing, truss girder, load-bearing arch, pre-stressed cable, welded connection, bolted connection, internal forces

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Vojtěch Chalupa *Zastřešení zimního stadionu*. Brno, 2014. 103 s., 108 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jan Barnat, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17.1.2014

.....
podpis autora
Bc. Vojtěch Chalupa

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval Ing. Janu Barnatovi za odborné vedení práce, užitečné rady a věcné připomínky.

Obsah

1 Technická zpráva.....	11
1.1 Úvod	11
1.2 Použité normativní dokumenty	11
1.3 Zatížení.....	11
1.3.1 Stálá zatížení.....	11
1.3.2 Klimatická zatížení.....	11
1.4 Průřezy a materiály.....	11
1.5 Statické řešení	12
1.5.1 Střešní plášť.....	12
1.5.2 Vazníky	12
1.5.3 Podélná ztužidla.....	12
1.5.4 Příčná ztužidla	12
1.5.5 Sloupy.....	12
1.5.6 Oblouk.....	13
1.5.7 Závěsy	13
1.5.8 Spodní stavba.....	13
1.6 Ochrana proti korozi	13
1.7 Ochrana proti požáru	13
1.8 Výroba a montáž	14
1.9 Ekonomické hledisko	14
2 Variantní řešení a optimalizace konstrukce.....	14
2.1 Optimalizace křivek popisující nosný oblouk a zastřešení	15
2.2 Optimalizace sklonu závěsů	15
2.3 Varianta A	16
2.4 Varianta B.....	17
2.5 Interpretace výsledků.....	20
2.6 Závěr	20
3. Zatížení	21
3.1 Vlastní tíha konstrukce.....	21
3.2 Vlastní tíha střešního pláště.....	21
3.3 Technologické vybavení (vzduchotechnika, osvětlení, ...)	21
3.4 Zatížení sněhem dle [3]	21
3.5 Zatížení větrem dle [4]	23
3.5.1 Příčný vítr	24

3.5.2 Podélný vítr.....	25
4 Kombinace.....	29
5 Posouzení na mezní stav únosnosti.....	35
5.1 Vazník.....	35
5.1.1 Horní pás v polovině rozpětí	35
5.1.2 Horní pás ve třetině rozpětí.....	39
5.1.3 Dolní pás	42
5.1.4 Výplňové pruty vazníku – diagonály	45
5.1.5 Výplňové pruty vazníku – svislice	47
5.2 Podélné ztužidlo.....	49
5.2.1 Horní pás podélného ztužidla	49
5.2.2 Dolní pás podélného ztužidla	52
5.2.3 Výplňové pruty podélného ztužidla.....	54
5.3 Příčné ztužidlo	56
5.3.1 Příčné ztužidlo – vzpěry	56
5.3.2 Příčné ztužidlo – táhla	58
5.4 Horní a dolní pás – globální stabilita oblouku	59
5.5 Paždík	63
5.6 Sloupy [(B-K); 2'] a [(B-K); 16'], konkrétně [F;2']	66
5.7 Sloupy [A;(2~16)] a [L (2~16)], konkrétně [A;9].....	71
6 Posouzení na mezní stav použitelnosti	75
6.1 Sloup [F;2'].....	75
6.2 Sloup [A;9]	75
6.3 Dolní pás vazníku [9].....	76
6.4 Paždík	76
6.5 Oblouk	76
7 Návrh předpětí.....	77
8 Kotvení.....	79
8.1 Patka pod sloupy 7-9	79
8.2 Patka pod sloupy 2B,D; 14B,D	84
9 Posouzení vybraných styčnicků	87
9.1 Styčník mezipásových prutů a dolního pásu (typ KT)	87
9.2 Styčník mezipásových prutů a horního pásu (typ K).....	88
9.3 Styčník mezipásových prutů podélného ztužidla.....	90
9.4 Styčník horního pásu a předepnutých závěsů	91
9.5 Čep kotevních lan.....	93

9.6 Přípoj horního pásu vazníku na sloup	94
9.7 Posouzení kotevního čepu nosného oblouku.....	97
9.8 Montážní přípoj dolního pásu v polovině rozpětí.....	98
9.9 Montážní připojení diagonály ve vazníku	100
10 Seznam použitých zdrojů	102
11 Seznam příloh	103
12 Systém značení výkresové dokumentace	103

1 Technická zpráva

1.1 Úvod

Konstrukce zastřešuje půdorysnou plochu o délce 77 m a šířce 55 m. Je tvořena soustavou příhradových vazníků o rozpětí 55 m uložených na sloupech a vnějším nosným obloukem. Osová vzdálenost příčných vazeb je 5,5 m. Jsou tvořeny sedlovými vazníky se sklonem horního pásu 4 %. Ty jsou zavěšeny na nosný oblouk pomocí předpjatých závěsů. V podélném směru tvoří vazníky parabolu 3° o vzepětí 6,1 m. Oblouk tvoří opět parabola 3° o rozpětí 96 m se vzepětím 29 m. Střešní plášť je bezvaznicový systém z prefabrikovaných panelů. Opláštění stěn je provedeno soustavou paždíků a sloupků.

1.2 Použité normativní dokumenty

ČSN EN 1990	Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991-1-1	Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-3	Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
ČSN EN 1991-1-4	Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
ČSN EN 1993-1-1	Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1993-1-8	Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků

1.3 Zatížení

Zatížení pro výpočet vnitřních sil na ocelové konstrukci je stanoveno v souladu s ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí. Podrobná specifikace zatížení je uvedena ve statickém výpočtu.

1.3.1 Stálá zatížení

Vlastní tíha konstrukce:	Vlastní tíha konstrukce byla vypočtena automaticky v programu Scia Engineer 2011.
Střešní plášť:	0,246 kN/m ²
Technologické vybavení:	0,300 kN/m ²

1.3.2 Klimatická zatížení

Zatížení sněhem:	Sněhová oblast IV 2,000 kN/m ²
Zatížení větrem:	Větrná oblast III 27,500 m/s

1.4 Průřezy a materiály

Většina nosné konstrukce je tvořena bezešvými trubkovými profily z oceli S 355. Táhla příčného ztužidla jsou kruhového průřezu z oceli S 460. Sloupy, které jsou součástí příčné vazby, jsou svařované I profily z oceli S 235. Sloupy na čelních stěnách jsou z válcovaných HEB profilů a oceli pevnostní třídy S 355. Předpjaté lanové závěsy jsou z oceli o mezi kluzu 1320 MPa a mezi pevnosti 1770 MPa.

1.5 Statické řešení

1.5.1 Střešní plášť

Prefabrikované panely jsou šachovnicově ukládány na vazníky přes dvě pole o rozpětí 5,5 m na podpory o šířce 10 cm. Staticky tak působí jako spojitý nosník o dvou polích. Skládají se z trapézového plechu, který plní nosnou funkci a tuhé polyizokyanuratové pěny, která plní funkci tepelně izolační. Na tyto panely bude uložena hydroizolační vrstva z modifikovaných asfaltových pásů.

1.5.2 Vazníky

Sedlové příhradové vazníky se sklonem horního pásu 4 % jsou uloženy na rozpětí 55 m. Výška vazníku nad sloupem je 2 m a ve vrcholu 3 m. Výplňové pruty sestávají z diagonál a nepodružných svislic.

Vazník je rozdělen na 4 montážní dílce D101-103, přičemž dílec D 101 je jednou vyroben zrcadlově. Dolní pás tvoří trubkový průřez CHS 244,5x6,3. Horní pás v dílci D 101 je tvořen trubkovým průřezem CHS 244,5x10 a v dílcích D102 a D103 trubkovým průřezem CHS 244,5x20. Pro diagonály je navržen průřez CHS 114,3x6,3 a pro svislice průřez CHS 51x6,3.

Pásky jsou v montážních stycích připojeny přes kruhové čelní desky tloušťky 12 mm pomocí 4, respektive 8 šroubů M 16-50 pevnostní třídy 10.9. Diagonály jsou v montážních stycích připojeny dvojstřížným spojem přes styčnickový plech o tloušťce 10 mm šroubem M20-60 pevnostní třídy 8.8. Horní i dolní pás je na sloupy připojen pomocí čelní desky o tloušťce 12 mm a 4 šroubů M20-60 pevnostní třídy 10.9.

1.5.3 Podélná ztužidla

Podélné ztužení je realizováno ve třech rovinách a to v ose vazníku a pod závěsy na obou stranách. Výška ztužidla v ose je 3 m a pod závěsy 2,545 m. Podélná ztužidla jsou tvořena horním a dolním pásem z profilu CHS 152,4x5 respektive CHS 152,4x4. Diagonály jsou z profilu CHS 101,6x5. Pruty jsou k vazníku připojeny kloubově přes dvojstřížný spoj na styčnickový plech tloušťky 16 mm pomocí šroubů M24-65 pevnostní třídy 10.9. Vzhledem k parabolickému tvaru zastřešení v podélném směru se délka jednotlivých prvků ztužidla pro každý dílec liší.

1.5.4 Příčná ztužidla

Příčná ztužidla se skládají ze stěnové a střešní části. Jsou navržena vždy mezi dvěma vazbami a v případě střešního ztužidla mezi všemi vazníky. Táhlá jsou tvořena tyčemi o průměru 12 mm. Na vazníky, případně sloupy, jsou připojena přes styčnickový plech o tloušťce 10 mm pomocí systémového čepu. V jednotlivých polích jsou táhlá spojena ve středovém mezikruží tloušťky 10 mm a průměru 128 mm.

1.5.5 Sloupy

Sloupy na čelní stěně jsou z válcovaného profilu HEB 200. Jsou uloženy kloubově v osových vzdálenostech 5 m. Na vazník jsou připojeny pomocí čelní desky tloušťky 10 mm a 4 šroubů M16-50 pevnostní třídy 10.9. Výška sloupů se pohybuje od 10,06 m do 10,93 m.

Sloupy pod příčnými vazbami jsou ze svařovaného profilu o výšce 400 mm a šířce 300 mm. Šířka stojiny je 12 mm, výška pásnice 20 mm. Účinná výška krčního svaru je navržena 6 mm. Jako materiál byla zvolena ocel S 235 z důvodu posouzení na mezní stav použitelnosti, konkrétně posouzení vodorovných posunů. Sloupy jsou v příčném směru vetknuty, v podélném směru uloženy kloubově.

Výška sloupů se pohybuje od 10,06 m do 16,15 m.

1.5.6 Oblouk

Nosný oblouk je tvořen trubkovým profilem o průměru 1270 mm a tloušťce stěny 22,2 mm. Jeho geometrie je popsána parabolou 3° o rozpětí 96 m a vzepětí 29 m. Je složen z dílců o délce 4,5 – 6,5 m, které jsou vzájemně spojeny tupými svařky přes výztuhu tvaru mezikružní o tloušťce 40 mm. Je oboustranně kloubově uložen přes čep o průměru 150 mm pevnostní třídy 6.8 šestistřížným spojem o celkové tloušťce plechu 120 mm. Stabilita oblouku je zajištěna dvěma předeprnutými lany při obou čelních stěnách budovy zakotvených do základové konstrukce.

1.5.7 Závěsy

Závěsy jsou navrženy z otevřených jednopramenných vinutých předpínacích lan s mezí pevnosti 1770 MPa. K oblouku i konstrukci jsou připojeny kloubově pomocí plechu tloušťky 40 mm přes čep o průměru 55 mm pevnostní třídy 6.8. Předpětí v lanech bylo navrženo tak, aby napětí v lanech při všech kombinacích zatížení nekleslo pod 10 % meze pevnosti a nepřesáhlo 45 % meze pevnosti.

Při předpínání je tak zajištěna dostatečná aktivace lan a díky tomu je možné popsat vzájemnou interakci a redistribuci sil v táhlech lineární maticí ^{[10][11]}. Lana budou předpínána na volné délce pomocí systému dodavatele a hodnoty budou tenzometricky měřeny a v reálném čase upravovány do navržených hodnot. Lana budou před osazením továrně napnuta, zkrácena na navrženou délku a osazena koncovkami. Podrobný návrh technologie předpínání lan nebyl v rámci diplomové práce řešen.

1.5.8 Spodní stavba

Sloupy z profilu HEB 200 jsou uloženy na patku přes patní plech tloušťky 10 mm a uchyceny dvěma lepenými kotvami vrtanými do hloubky 120 mm. Průměr dvojice šroubů je M 12x110/168, pevnostní třída 5.8. Povrch pod patní deskou je vyrovnán podlitím od tloušťky 30 mm. Patka je z betonu C 16/20 XC 2 a má rozměry 0,75 m x 0,75 m a výšku 1 m.

Sloupy ze svařovaného I profilu jsou vetknuté přes patní desku tloušťky 28 mm, která je vyztužena plechy tloušťky 10 mm. Síly v kotvení jsou přenášeny přes příčník tvořený dvojicí profilů U 160 do šroubů. Jsou navrženy dvě dvojice předem zabetonovaných šroubů s kotevní hlavou M48x3 z oceli S 355. Pro osazení je proto uvažováno s tolerancí ±50 mm. Povrch pod patní deskou je vyrovnán podlitím o tloušťce 50 mm. Patka je z betonu C 16/20 XC 2 o rozměrech 1,6 m x 1,6 m a výšce 1,2 m.

Základová konstrukce pod zemními táhly a obloukem nebyla součástí diplomové práce.

1.6 Ochrana proti korozi

Všechny nátěry a ochrana proti korozi musí být provedeny v souladu s platnými normami.

Na konstrukci bude proveden:

- základní nátěr nanesený na podklad
- podkladový nátěr
- konečný nátěr, chránící spodní nátěry před okolními vlivy a tvořící konečný vzhled

Po dokončení montáže je nutné zkontrolovat a případně opravit poškození nátěru.

1.7 Ochrana proti požáru

Protipožárním nátěrem je konstrukce ošetřena mezi protikorozními nátěry. Nátěr bude proveden ve dvou vrstvách natíráním či stříkáním.

1.8 Výroba a montáž

Všechny dílenské spoje jsou svařované a budou provedeny ve výrobě. Ostatní styky jsou navrženy jako šroubované. Prvky musí být dodány tvarově neporušené a bez poškození základního nátěru. Rozhodující z hlediska přepravy jsou 14,3 m dlouhé dílce vazníků.

Montáž konstrukce začíná uložením sloupů a sestavením nosného oblouku na provizorních podporách. Poté budou na oblouk zavěšovány střední dílce vazníků, ke kterým budou následně připojeny krajní dílce. Celý vazník bude potom připojen ke sloupům. Současně s montáží vazníků bude postupovat montáž podélných a ztužidel. Po dokončení montáže příčných ztužidel bude vneseno projektované předpětí do závěsů a po nanesení veškerých stálých zatížení budou dopnuta jak táhla nosící vazníky, tak kotevní táhla oblouku.

1.9 Ekonomické hledisko

Celková hmotnost konstrukce je odhadem dle výkazu materiálu ze SCIA Engineer 205 000 kg. Celková nátěrová plocha je 4137 m². Zastavěná plocha je 5280 m². Obestavěný prostor 153 120 m³. Průměrná hmotnost je poté 38,83 kg/m² a 1,34 kg/m³.

2 Variantní řešení a optimalizace konstrukce

V rámci řešení diplomové práce byly vypracovány dvě varianty konstrukce. Za pomoci statického softwaru byly předběžně navrženy a posouzeny.

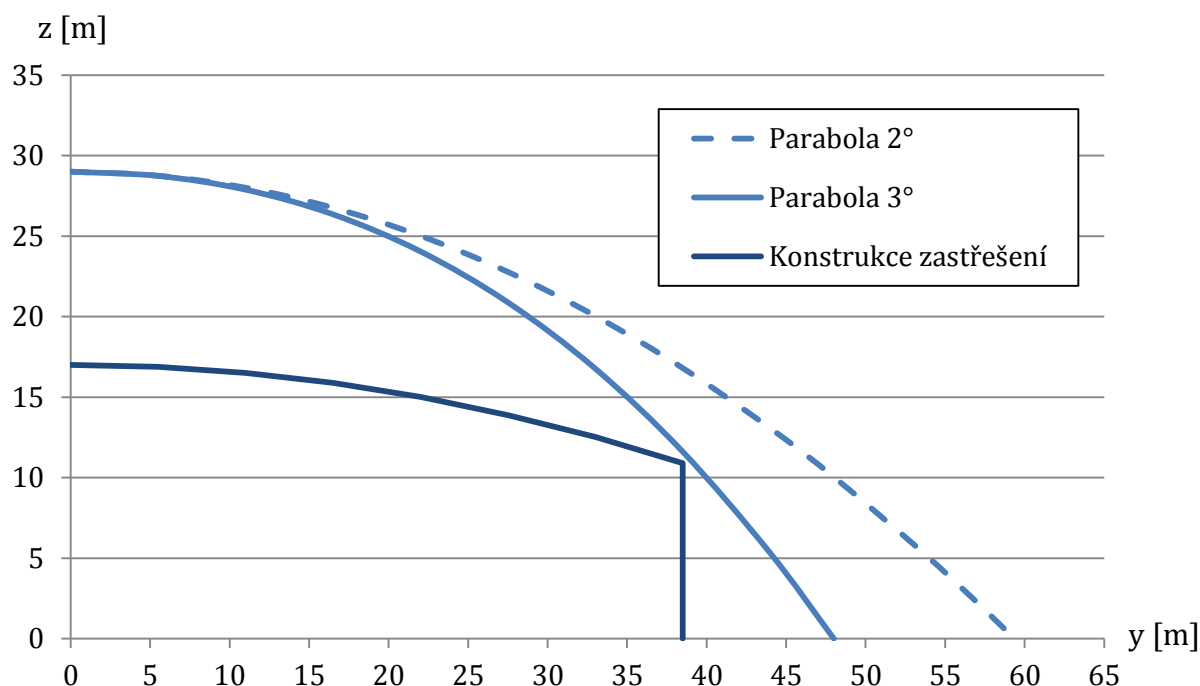
Varianty A a B se od sebe liší pouze polohou nosných oblouků nad konstrukcí a sklonem předepnutých lan. Pro ilustraci účinku předpětí na konstrukci byla vypracována i varianta bez nosného oblouku a předpětí.

Pro znázornění vlivu polohy nosných oblouků na statické působení konstrukce byly vypočteny vnitřní síly na vazníku 9 a odpovídajících sloupech [A;9] a [L;9]. Výsledky pro všechny tři zatěžovací stavy následují po schématickém zobrazení obou variant.

Horní a dolní pásy vazníku byly zatíženy nejdříve charakteristickou hodnotou vlastní tíhy konstrukce a střešního pláště. Druhým zatěžovacím stavem je návrhová hodnota stálých zatížení v kombinaci s plným účinkem sněhu.

Sloupy byly zatíženy taktéž charakteristickou hodnotou vlastní tíhy konstrukce a střešního pláště. Druhým zatěžovacím stavem je návrhová hodnota stálých zatížení působících příznivě v kombinaci s plným účinkem příčného větru.

2.1 Optimalizace křivek popisující nosný oblouk a zastřešení



V prvním kroku byl nosný oblouk navržen jako parabola 2°. Z důvodu snížení rozpětí při zachování statické výhodnosti tvaru křivky byla původní křivka upravena parabolou 3°.

Parabola 2°

$$z = 29 - 0,00823 \cdot y^2 \quad \text{pro } y \in \langle 0; 59,36 \rangle$$

Parabola 3°

$$z = 29 - 0,00823 \cdot y^2 - 0,000091 \cdot y^3 \quad \text{pro } y \in \langle 0; 48 \rangle$$

Pro zachování výhodného odklonu závěsů od svislice je i zastřešení navrženo jako parabola, jejíž vzepětí kopíruje hlavní nosný oblouk v poměru 1:3.

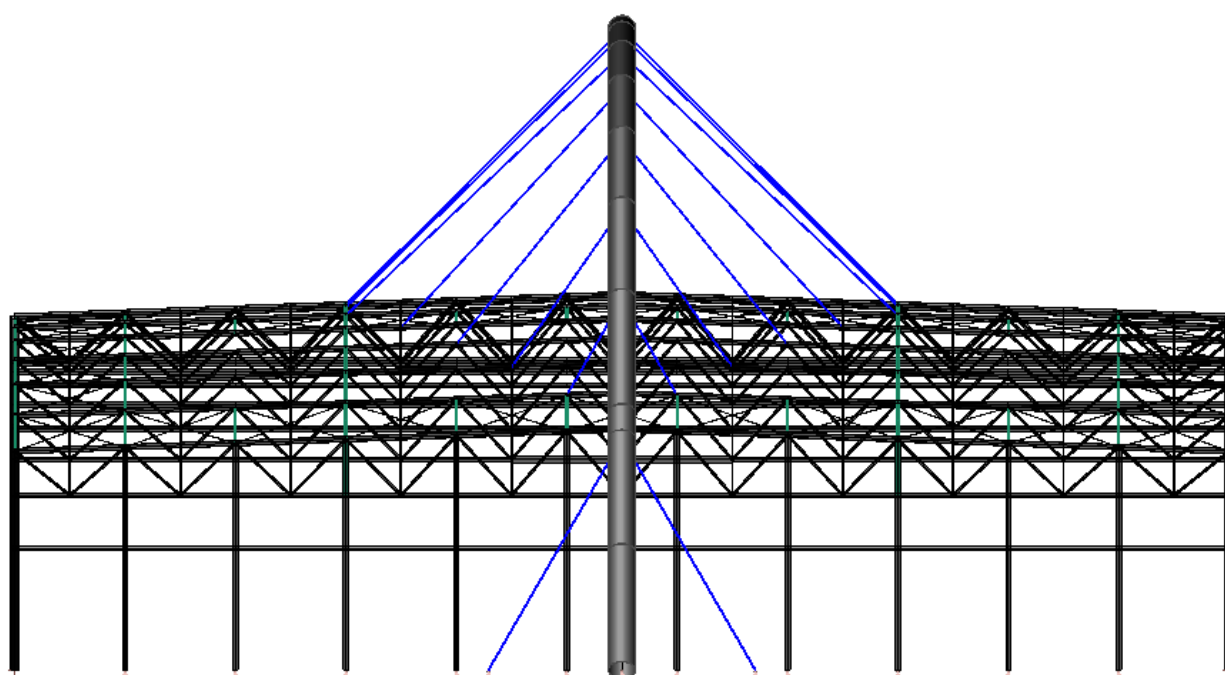
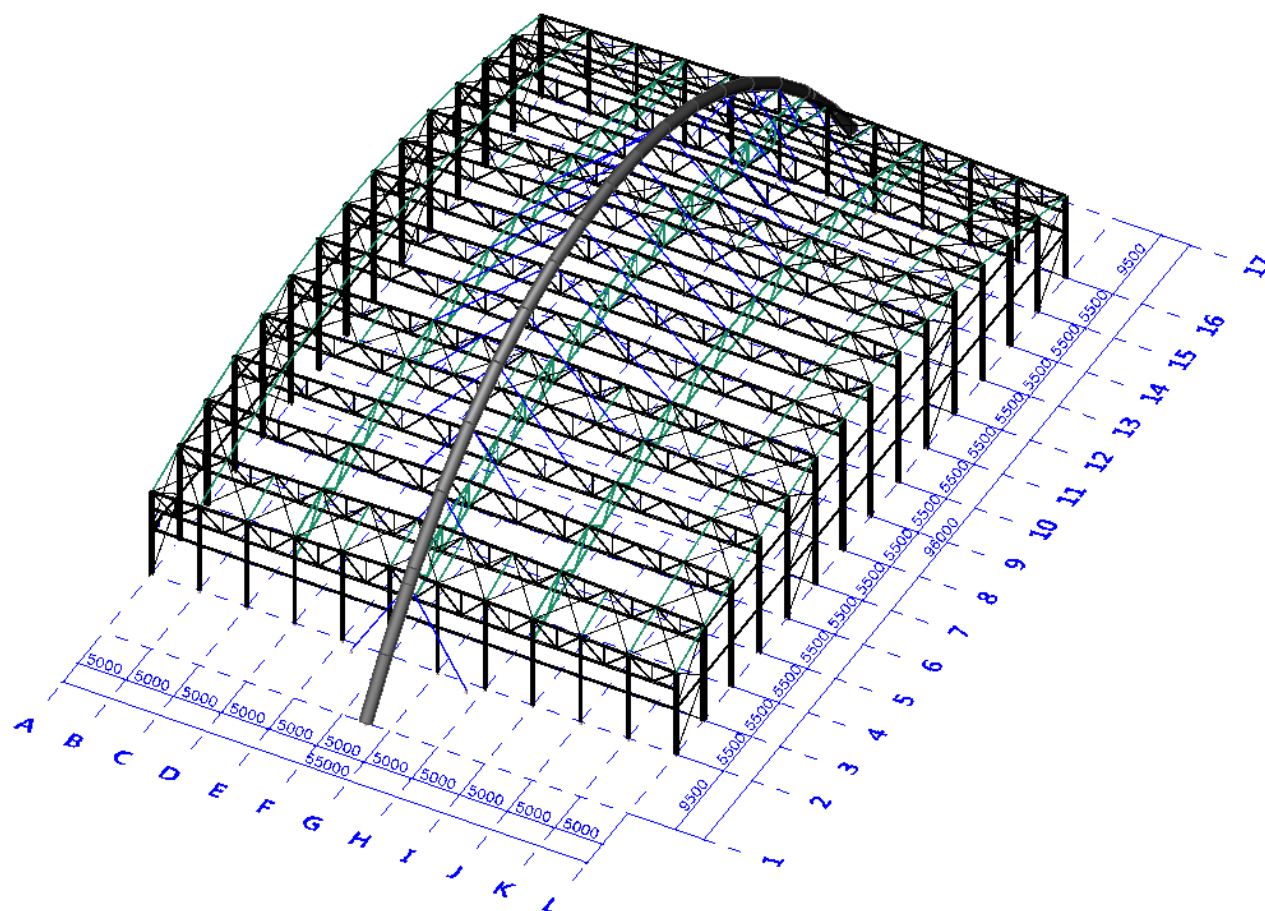
Konstrukce zastřešení ve vrcholu vazníku

$$z = 17 - \frac{1}{3} \cdot (0,00823 \cdot y^2 - 0,000091 \cdot y^3) \quad \text{pro } y \in \langle 0; 38,5 \rangle$$

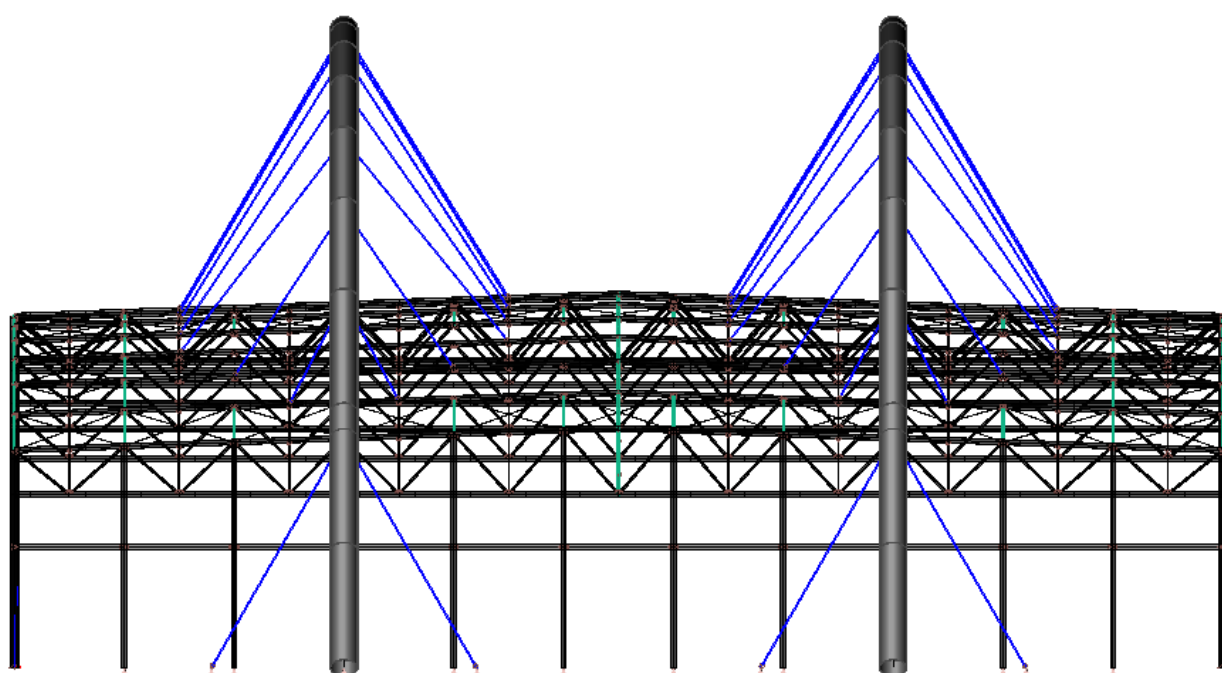
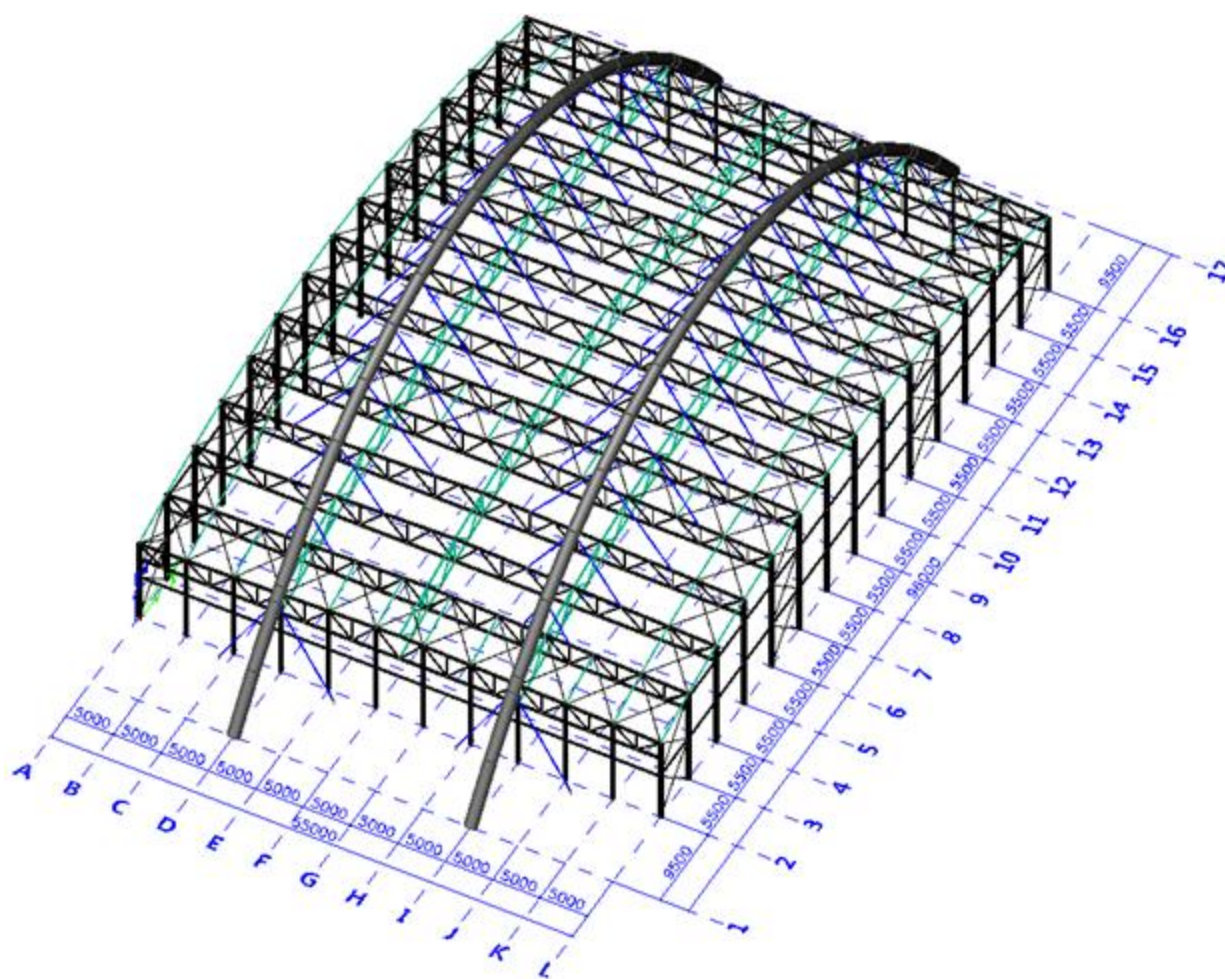
2.2 Optimalizace sklonu závěsů

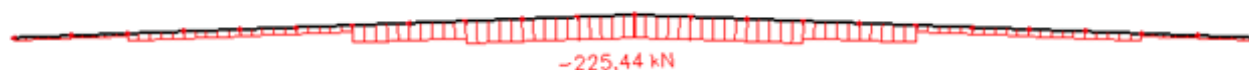
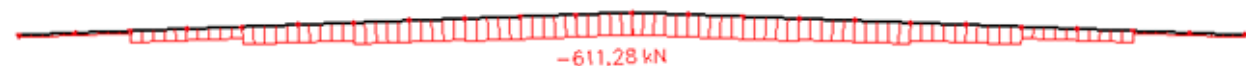
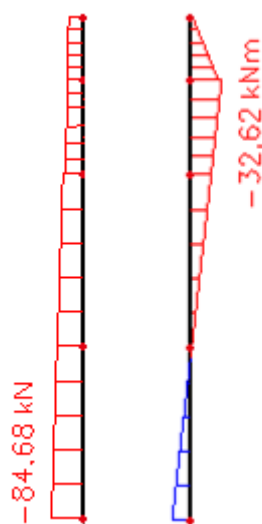
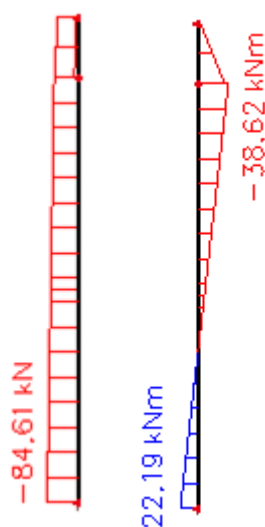
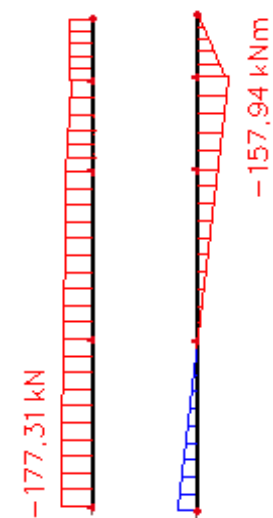
Ploché závěsy vyvozují velkou tlakovou sílu v horním pásu vazníku. Zároveň přejímají většinu příčných zatížení, čímž zvyšují příčnou tuhost konstrukce. Sklon závěsů je tedy kompromisem mezi efektivitou vnesení předpínací síly do konstrukce a zvýšením příčné tuhosti vazeb. Výsledkem tohoto kompromisu jsou sklony závěsů v intervalu od 40° do 55°.

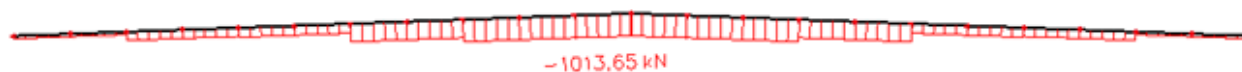
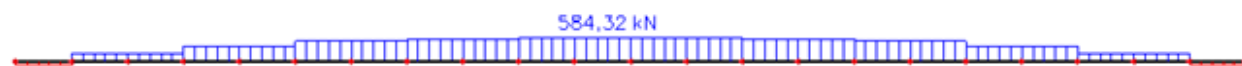
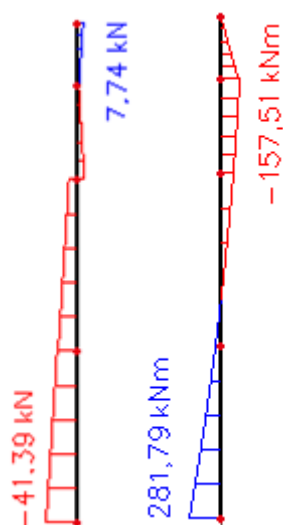
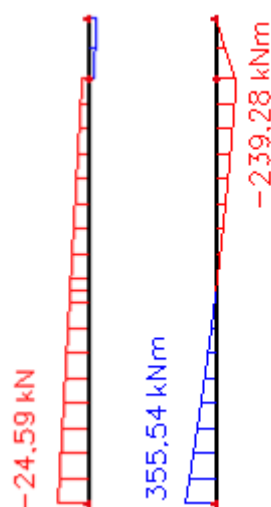
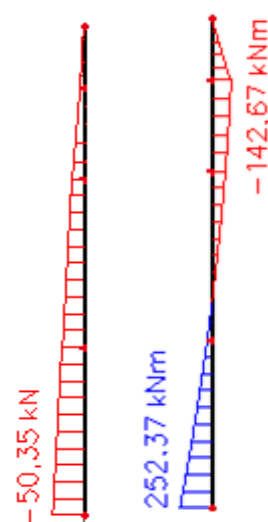
2.3 Varianta A



2.4 Varianta B



Normálová síla v horním pásu vazníku od charakteristické hodnoty stálého zatížení:*Varianta A**Varianta B**Bez předpětí***Normálová síla v dolním pásu vazníku od charakteristické hodnoty stálého zatížení:***Varianta A**Varianta B**Bez předpětí***Normálová síla a momenty ve sloupech od charakteristické hodnoty stálého zatížení:***Varianta A**Varianta B**Bez předpětí*

Normálová síla v horním pásu vazníku od návrhové hodnoty stálých zatížení a plného sněhu:*Varianta A**Varianta B**Bez předpětí***Normálová síla v dolním pásu vazníku od návrhové hodnoty stálých zatížení a plného sněhu:***Varianta A**Varianta B**Bez předpětí***Normálová síla a moment ve sloupech od návrhové hodnoty stálého zatížení a větru***Varianta A**Varianta B**Bez předpětí*

2.5 Interpretace výsledků

1) Konstrukcí nosného oblouku a zavěšením vazníků na předpjatá lana dochází k redistribuci vnitřních sil ve vazníku a sloupu. Pokud srovnáme variantu A a variantu bez předpětí, výsledky jsou následující:

a) Charakteristická hodnota stálých zatížení:

Tlaková síla v horním pásu vazníku je nižší o 63%, tahová síla v dolním pásu vazníku o 80%.

Tlaková síla ve sloupu je nižší o 52%, ohybový moment o 79%.

b) Návrhová hodnota stálých zatížení a zatížení sněhem / větrem:

Tlaková síla v horním pásu vazníku je nižší o 57%, tahová síla v dolním pásu vazníku o 74%.

Hodnoty tlakové síly a ohybového momentu ve sloupu jsou srovnatelné.

2) Srovnání výsledků pro varianty A a B:

a) Tlakové síly v horních pásech vazníku jsou v obou zatěžovacích případech srovnatelné.

b) Ve vazníku varianty B vzniká v dolním pásu při zatížení sněhem o 37% větší tahová síla. To je způsobeno větší hodnotou svislé složky předpínací síly vnesené táhly do konstrukce.

c) Hodnoty vnitřních sil na sloupech jsou pro stálé zatížení srovnatelné.

d) Pro zatížení větrem je hodnota tlakové síly na sloupu o 41% vyšší u varianty A, rozhodující moment je však o 21% nižší.

2.6 Závěr

ad1) Z výsledků vyplývá, že zavěšení střešní konstrukce má velice příznivý vliv na přerozdělení vnitřních sil ve vaznících.

ad2) Přestože vazník ve variantě A je zavěšený pouze na dvou lanech, při rovnoměrnějším zavěšení na čtyři lana ve variantě B už k další znatelné úspoře nedochází. Příznivý vliv zavěšení je ekvivaletní tlakové síle, která je vnesena do horního pásu vazníku z důvodu odklonu závěsů od svislé roviny.

U varianty B dochází téměř k dvojnásobným vodorovným posunům vrcholů sloupů. To je zapříčiněno menším odklonem závěsů od svislice, které tím pádem nepřenášejí vodorovná zatížení.

K podrobnějšímu zpracování byla vybrána varianta A.

3. Zatížení

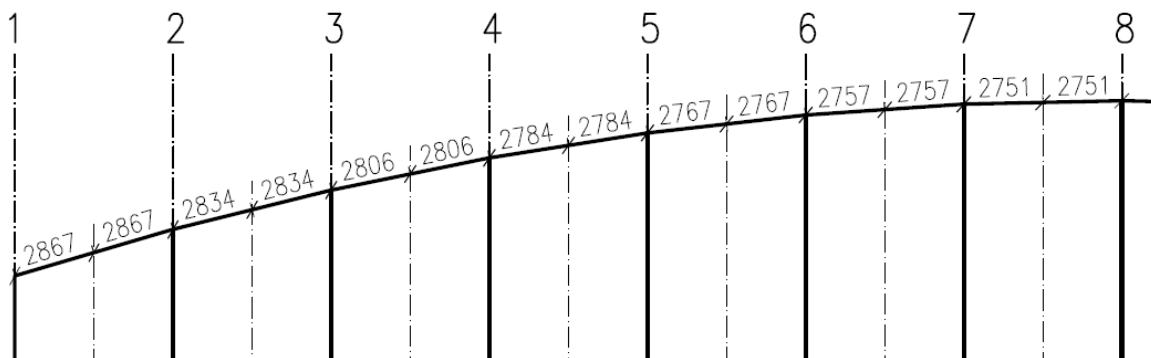
3.1 Vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha konstrukce byla počítána programem SCIA Engineer.

3.2 Vlastní tíha střešního pláště

Hmotnost udávaná výrobcem je $24,6 \text{ kg/m}^2 = 0,246 \text{ kN/m}^2$

Zatěžovací šířky vazníků pro tíhu střešního pláště:



Vazník č.	1; 15	2; 14	3; 13	4; 12	5; 11	6; 10	7; 9	8
Zatěžovací šířka [m]	2,867	5,701	5,640	5,590	5,551	5,524	5,508	5,502
Zatížení na 1 mb vazníku [kN/m]	0,705	1,402	1,387	1,375	1,366	1,359	1,355	1,353

3.3 Technologické vybavení (vzduchotechnika, osvětlení, ...)

Odhad $0,3 \text{ kN/m}^2$

3.4 Zatížení sněhem dle [3]

Oblast IV $\Rightarrow s_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

$$C_e = 1,0$$

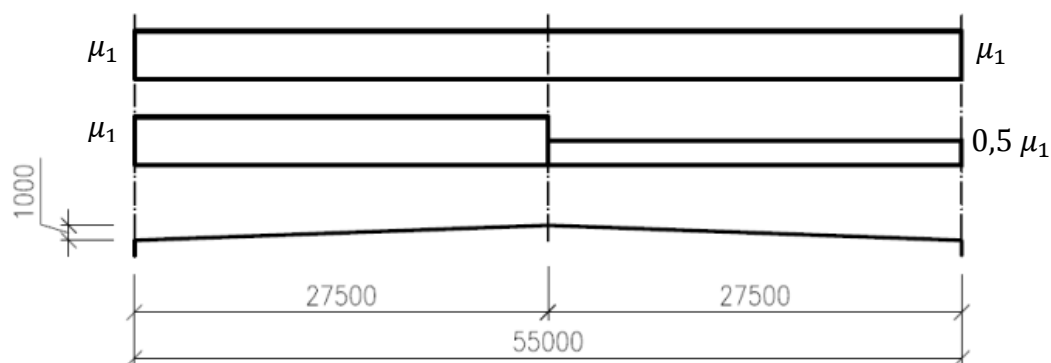
$$C_t = 1,0$$

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = \mu_i \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2$$

Tvarové součinitele:

Případ I a II - příčný směr

Příčný sklon střechy $\alpha = 2,08^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0,8$



Zatížení sněhem na 1 mb vazníku

$$s_1 = \mu_1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,0 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = 0,5 \cdot \mu_2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Případ III a IV – návěje v podélném směru

$$\frac{h}{b} = \frac{6,100}{77,000} = 0,079 \Rightarrow \mu_3 = 1,0$$

Byly stanoveny půdorysné zatěžovací šířky vazníků A_{ij} s vlivem tvarových součinitelů viz obrázek, kde:

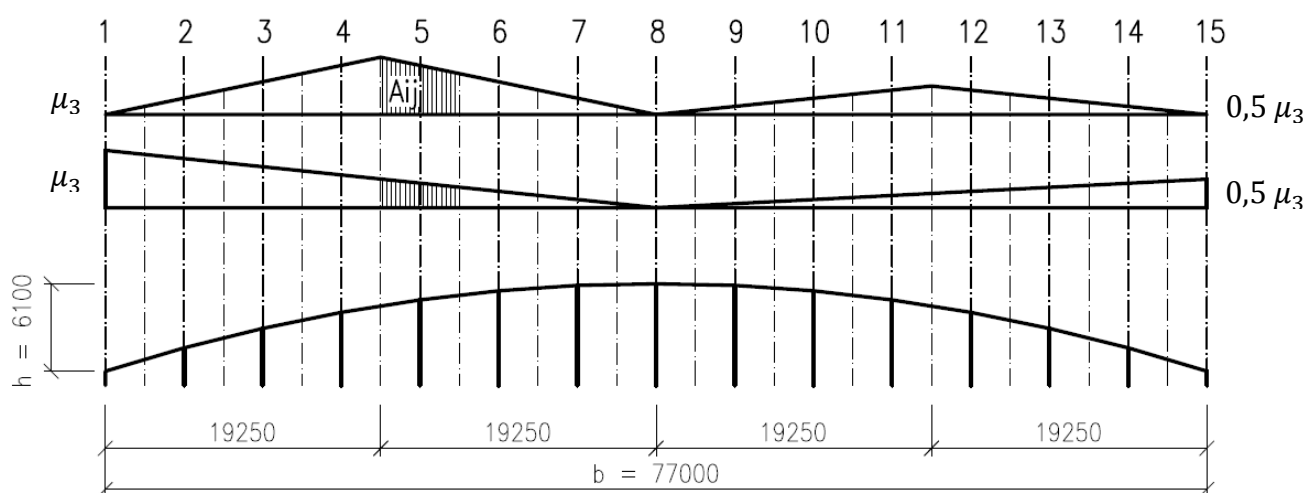
$$A_{ij} = Z\check{S}_j \cdot \mu$$

i – číslo zatěžovacího případu

j – číslo vazníku

Zatížení sněhem na vazník je potom:

$$s_{ij} = A_{ij} \cdot s_k = A_{ij} \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2$$



	Svislá složka zatížení sněhem na 1 mb vazníku			
Vazník č.	A_{3j} [m]	A_{4j} [m]	s_{3j} [kN/m]	s_{4j} [kN/m]
1	0,197	2,652	0,393	5,304
2	1,572	4,715	3,143	9,429
3	3,143	3,929	6,286	7,857
4	4,715	3,143	9,429	6,286
5	4,715	2,357	9,429	4,714
6	3,143	1,572	6,286	3,143
7	1,572	0,786	3,143	1,571
8	0,295	0,148	0,589	0,295
9	0,786	0,393	1,571	0,786
10	1,572	0,786	3,143	1,572
11	2,357	1,179	4,714	2,357
12	2,357	1,572	4,714	3,143
13	1,572	1,964	3,143	3,929
14	0,786	2,357	1,571	4,715
15	0,098	1,326	0,196	2,652

3.5 Zatížení větrem dle [4]

Větrná oblast III => $v_{b,0} = 27,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Kategorie terénu III => $z_0 = 0,30 \text{ m}$; $z_{min} = 5,00 \text{ m}$

$$C_{dir} = 1,0; C_{season} = 1,0$$

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 27,5 = 27,50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,30}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,215 \cdot \ln \left(\frac{17}{0,30} \right) = 0,868(0,990)$$

$$c_o(z) = 1,0$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,868 \cdot 1,0 \cdot 27,50 = 23,87 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} (27,225)$$

$$k_I(z) = 1,0$$

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \left(\frac{17}{0,30} \right)} = 0,247(0,217)$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,247] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 23,87^2 = 972 \text{ Pa}(1667)$$

$$q_p(z) = \mathbf{0,972 \text{ kN/m}^2 (1,667)}$$

$$h = 17 \text{ m} \leq d = 55 \text{ m} \Rightarrow z_e = h = 17 \text{ m}$$

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,972 \cdot c_{pe}$$

3.5.1 Příčný vítr

Součinitele tlaku pro příčný vítr – střešní plášť

$$b = 77,000 \text{ m}$$

$$h = 17,000 \text{ m}$$

$$e = \min \{b; 2 \cdot h\} = \min \{77; 2 \cdot 17,000\} = 34,000 \text{ m}$$

Příčný sklon střechy $\alpha = 2,08^\circ$

$$c_{pe}(F) = -1,700$$

$$c_{pe}(G) = -1,200$$

$$c_{pe}(H) = -0,600$$

$$c_{pe}(J) = -0,600$$

$$c_{pe}(I) = -0,600$$

Příčný vítr – stěny na návětrné a závětrné straně

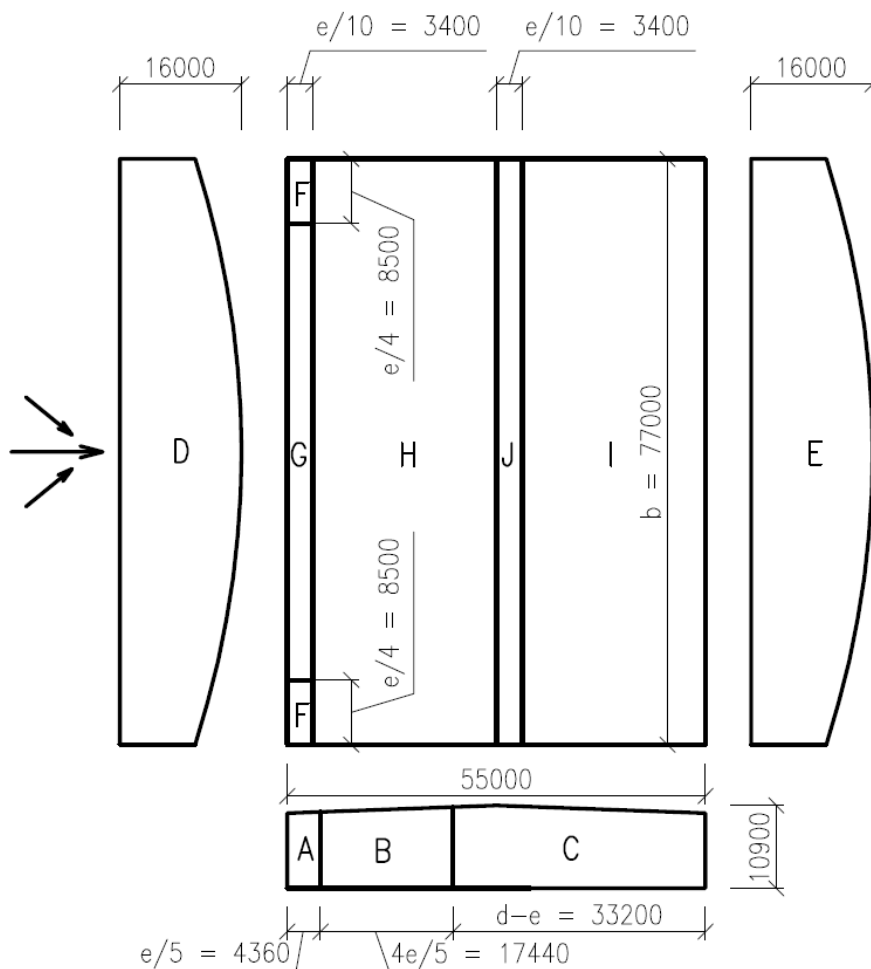
$$d = 55,000 \text{ m}$$

$$h = 16,000 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{16,000}{55,000} = 0,29$$

$$c_{pe}(D) = 0,700$$

$$c_{pe}(E) = -0,300$$



Příčný vítr – boční stěny

$$b = 77,000 \text{ m}$$

$$h = 10,900 \text{ m}$$

$$e = \min \{b; 2 \cdot h\} = \min \{77; 2 \cdot 10,900\} = 21,800 \text{ m}$$

$$c_{pe}(A) = -1,200$$

$$c_{pe}(B) = -0,800$$

$$c_{pe}(C) = -0,500$$

3.5.2 Podélný vítr

Součinitele tlaku pro podélný vítr – střešní plášť

$$d = 77,000 \text{ m}$$

$$f = 6,100 \text{ m}$$

$$h = 9,900 \text{ m}$$

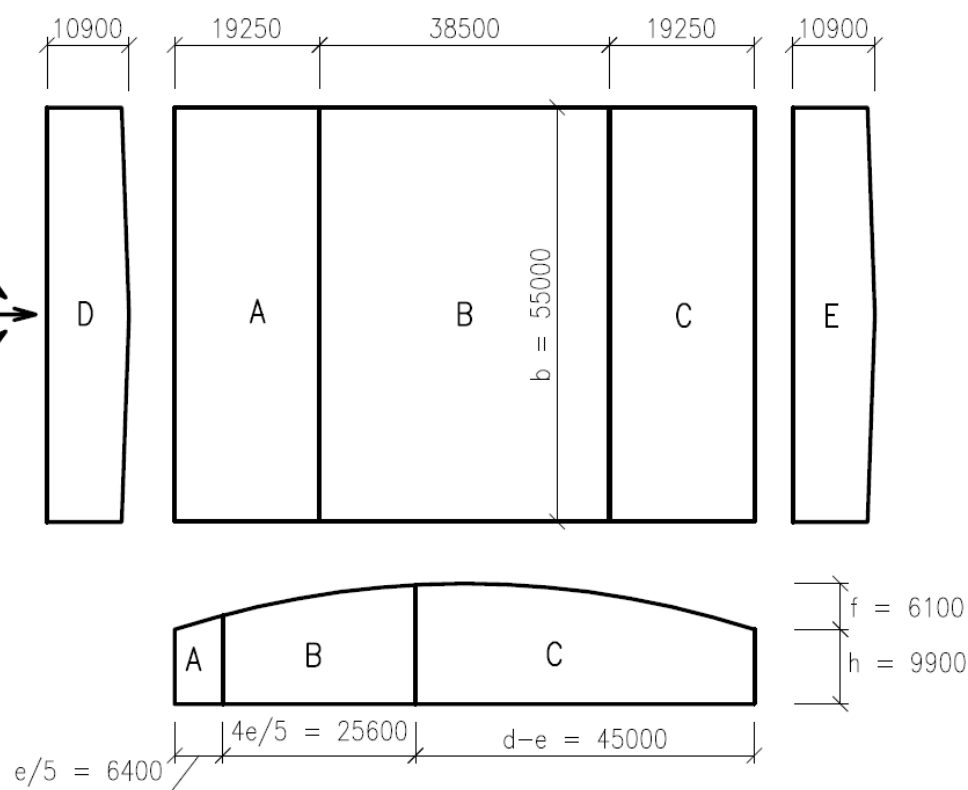
$$\frac{h}{d} = \frac{9,900}{77,000} = 0,129$$

$$\frac{f}{d} = \frac{6,100}{77,000} = 0,079$$

$$c_{pe}(A) = -1,200$$

$$c_{pe}(B) = -0,800$$

$$c_{pe}(C) = -0,400$$



Podélný vítr – stěny na návětrné a závětrné straně

$$d = 77,000 \text{ m}$$

$$h = 16,000 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{16,000}{77,000} = 0,208$$

$$c_{pe}(D) = 0,700$$

$$c_{pe}(E) = -0,300$$

Příčný vítr – boční stěny

$$b = 55,000 \text{ m}$$

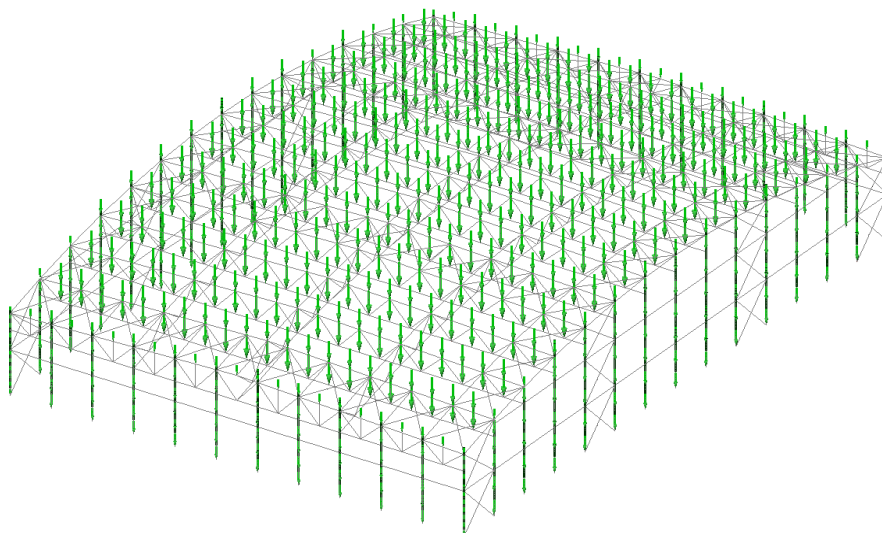
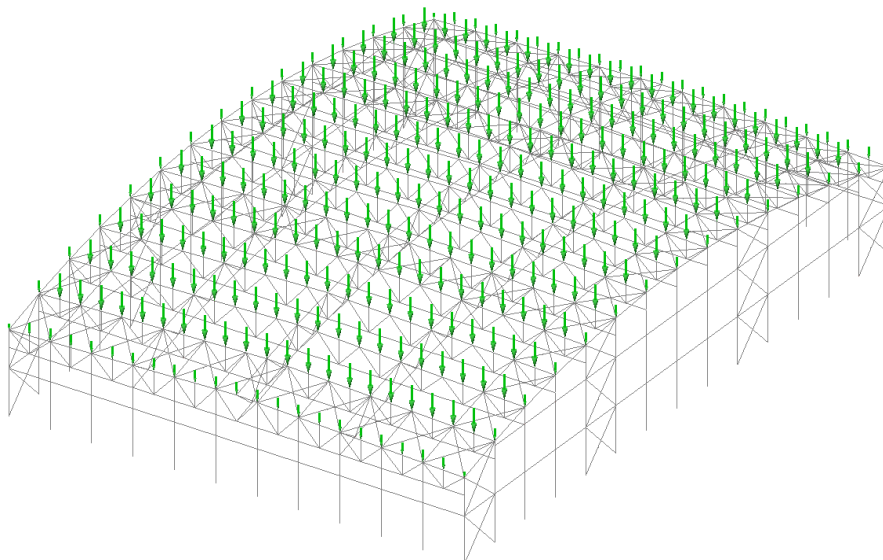
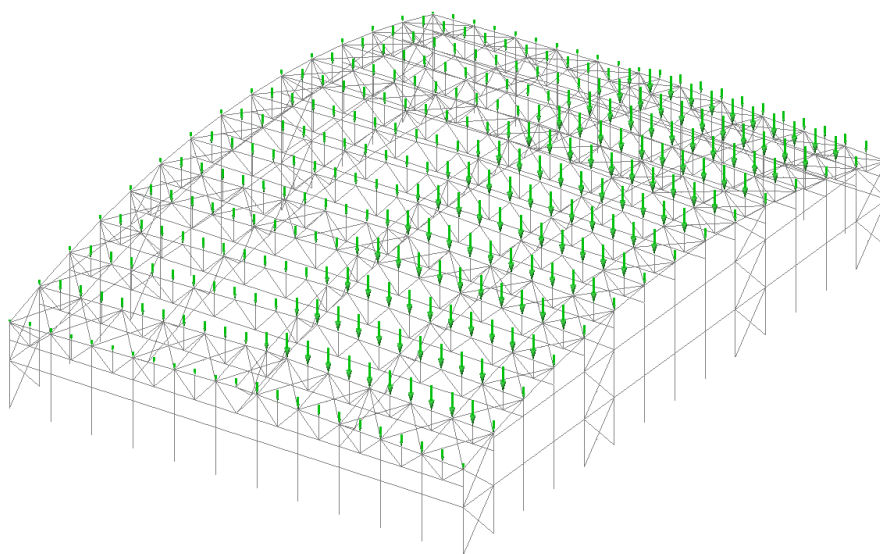
$$h = 16,000 \text{ m}$$

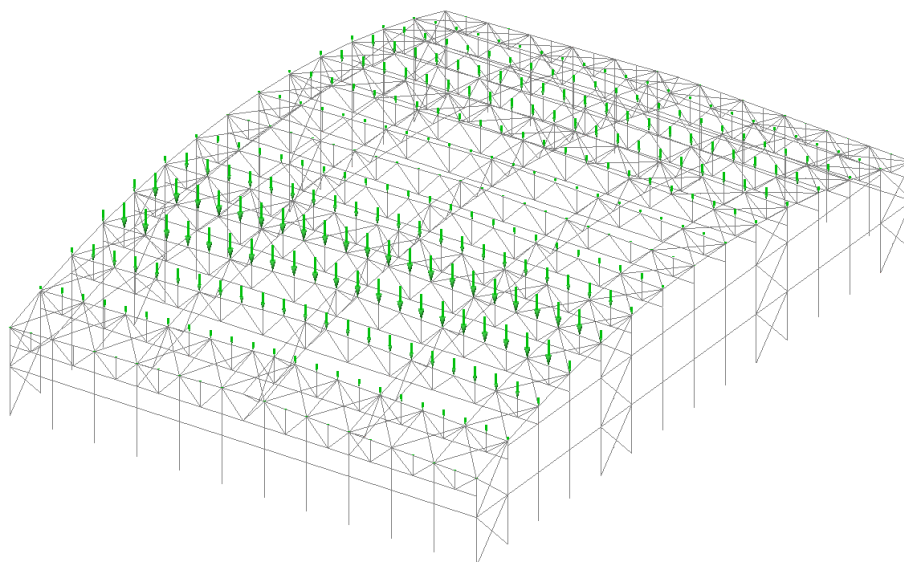
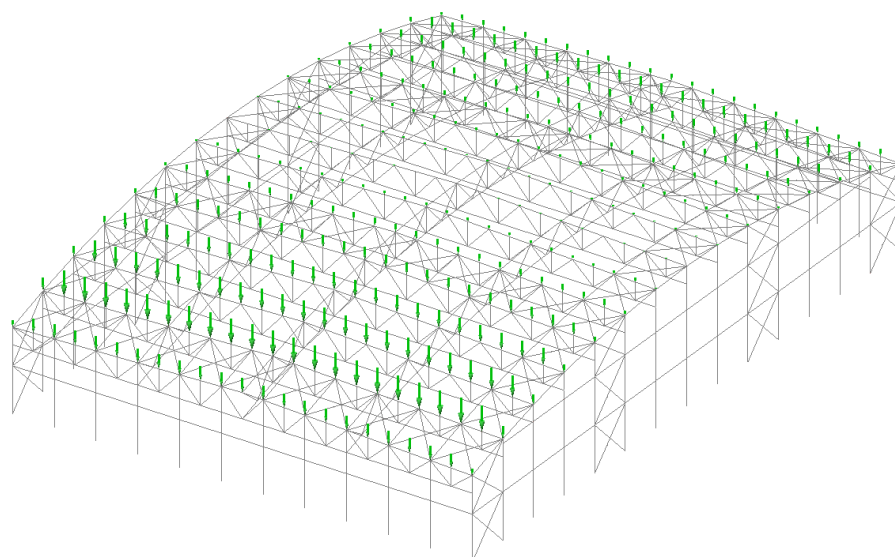
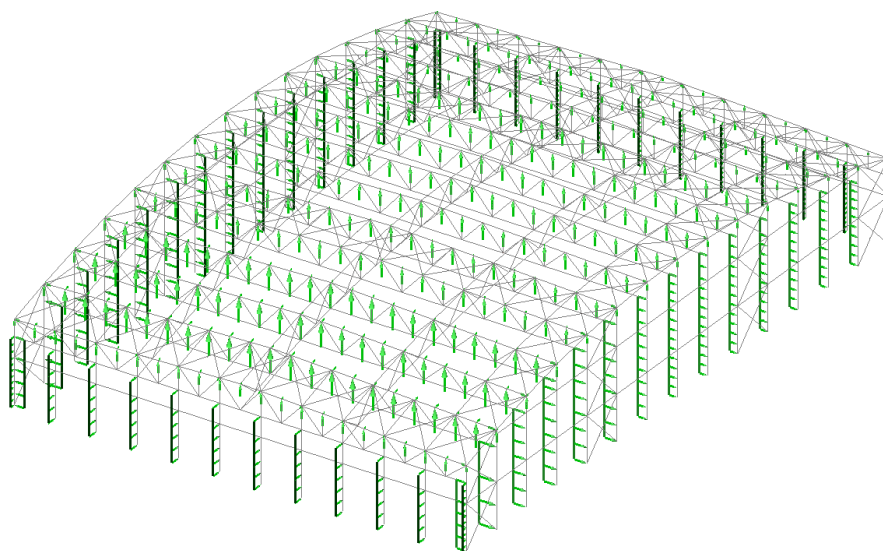
$$e = \min \{b; 2 \cdot h\} = \min \{55; 2 \cdot 16,000\} = 32,000 \text{ m}$$

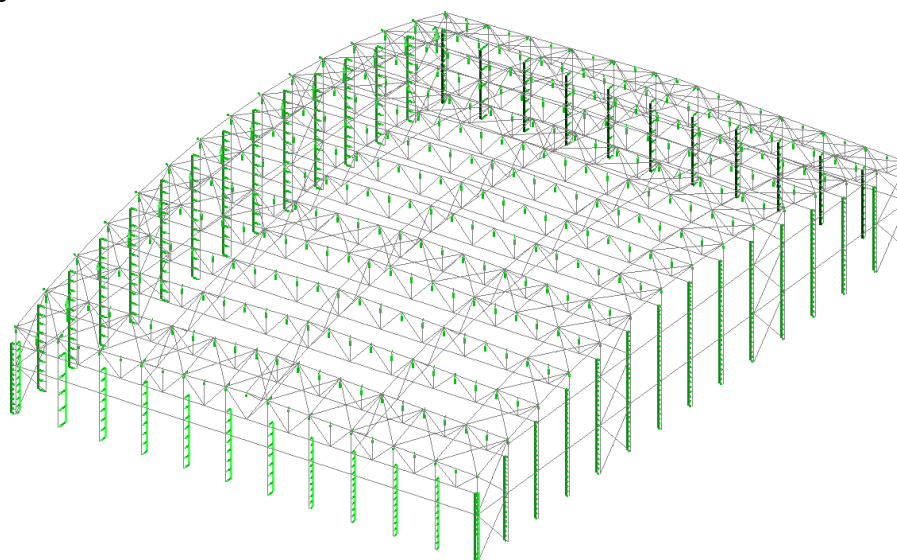
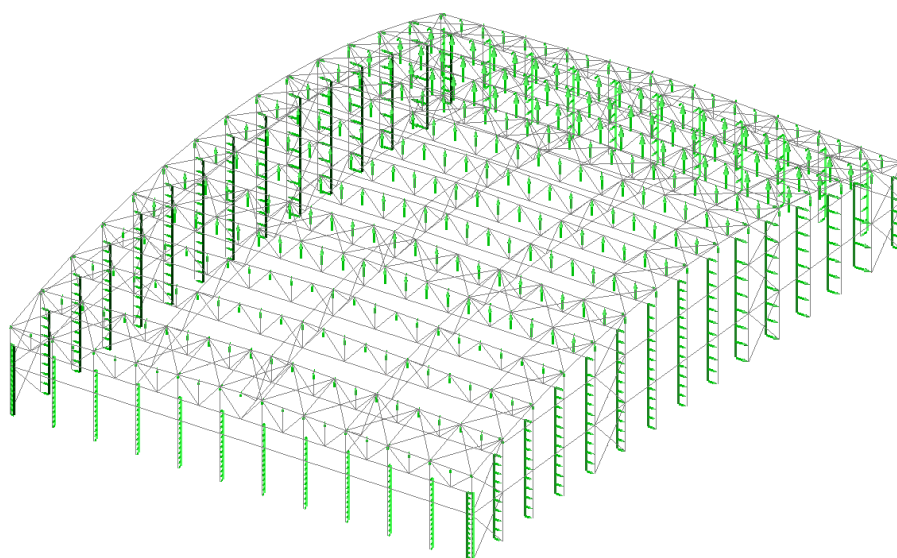
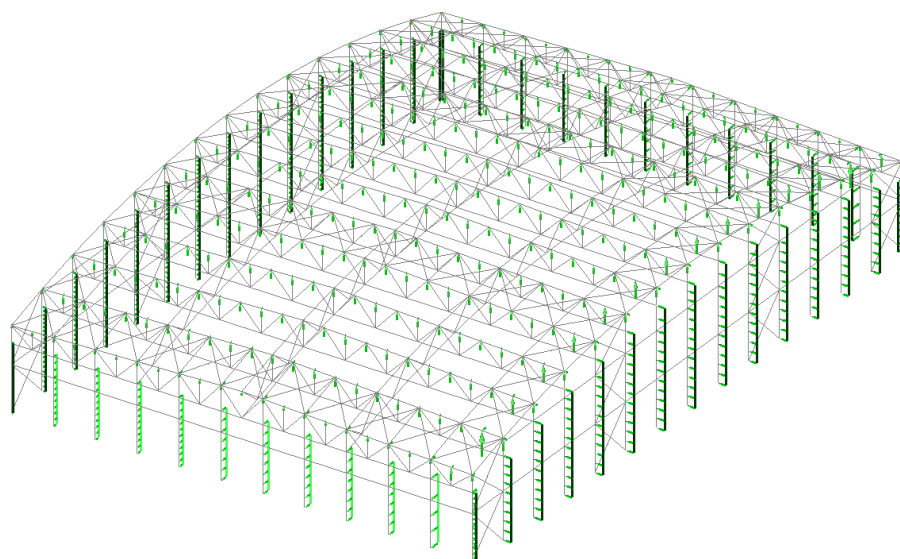
$$c_{pe}(A) = -1,200$$

$$c_{pe}(B) = -0,800$$

$$c_{pe}(C) = -0,500$$

G1+G2 – Tíha opláštění a technologického vybavení*S-Plný sněh**LS – Levý sněh*

SN1 – Návěje 1*SN2 – Návěje 2**VY – Vítr podélný*

V-Y – Vítr podélný*VX – Vítr příčný**V-X – Vítr příčný*

4 Kombinace

Kombinační výraz 6.10a pro MSÚ dle tabulky A1.2(B) v [2]

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,2} \cdot Q_{k,1} + \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2}$$

a) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k + G3_k)$, kde

$$\gamma_G: \gamma_{G,sup} = 1,35;$$

$$\gamma_{G,inf} = 1,00;$$

Kombinace č.	$G1 + G2 + G3$
1	1,35
2	1,00

b) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k + G3_k) + \gamma_Q \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1}$, kde

$$\gamma_G: \gamma_{G,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{G,inf} = 1,00$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

$$\psi_{0,1} = 0,5 \text{ pro sníh a } 0,6 \text{ pro vítr}$$

$$Q_{k,1} = S; SL; SN1; SN2; VY; V - Y; VX; V - X$$

Kombinace č.	$G1 + G2 + G3$	S	SL	SN1	SN2	VY	V-Y	VX	V-X
3	1,35	0,75							
4	1,35		0,75						
5	1,35			0,75					
6	1,35				0,75				
7	1,35					0,90			
8	1,35						0,90		
9	1,35							0,90	
10	1,35								0,90
11	1,00	0,75							
12	1,00		0,75						
13	1,00			0,75					
14	1,00				0,75				
15	1,00					0,90			
16	1,00						0,90		
17	1,00							0,90	
18	1,00								0,90

c) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k + G3_k) + \gamma_Q \cdot (\psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2})$, kde

$$\gamma_G: \gamma_{G,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{G,inf} = 1,00$$

$$\gamma_Q = 1,50;$$

$$\psi_{0,i} = 0,5 \text{ pro sních a } 0,6 \text{ pro vítr}$$

$$Q_{k,i} = S; SL; SN1; SN2; VY; V - Y; VX; V - X$$

Kombinace č.	$G1 + G2 + G3$	S	SL	SN1	SN2	VY	V-Y	VX	V-X
19	1,35	0,75				0,90			
20	1,35	0,75					0,90		
21	1,35	0,75						0,90	
22	1,35	0,75							0,90
23	1,35		0,75			0,90			
24	1,35		0,75				0,90		
25	1,35		0,75					0,90	
26	1,35		0,75						0,90
27	1,35			0,75		0,90			
28	1,35			0,75			0,90		
29	1,35			0,75				0,90	
30	1,35			0,75					0,90
31	1,35				0,75	0,90			
32	1,35				0,75		0,90		
33	1,35				0,75			0,90	
34	1,35				0,75				0,90
35	1,00	0,75				0,90			
36	1,00	0,75					0,90		
37	1,00	0,75						0,90	
38	1,00	0,75							0,90
39	1,00		0,75			0,90			
40	1,00		0,75				0,90		
41	1,00		0,75					0,90	
42	1,00		0,75						0,90
43	1,00			0,75		0,90			
44	1,00			0,75			0,90		
45	1,00			0,75				0,90	
46	1,00			0,75					0,90
47	1,00				0,75	0,90			
48	1,00				0,75		0,90		
49	1,00				0,75			0,90	
50	1,00				0,75				0,90

Kombinační výraz 6.10b pro MSÚ dle tabulky A1.2(B) v [1]

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2}$$

a) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k)$, kde

$$\gamma_G: \xi \cdot \gamma_{G,sup} = 1,15$$

Kombinace č.	$G1 + G2$
51	1,15

b) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k + G3_k) + \gamma_Q \cdot Q_{k,1}$, kde

$$\gamma_G: \xi \cdot \gamma_{G,sup} = 1,15$$

$$\gamma_{G,inf} = 1,00$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

$$Q_{k,1} = S; SL; SN1; SN2; VY; V - Y; VX; V - X$$

Kombinace č.	$G1 + G2 + G3$	S	SL	SN1	SN2	VY	V-Y	VX	V-X
52	1,15	1,5							
53	1,15		1,5						
54	1,15			1,5					
55	1,15				1,5				
56	1,15					1,5			
57	1,15						1,5		
58	1,15							1,5	
59	1,15								1,5
60	1,00	1,5							
61	1,00		1,5						
62	1,00			1,5					
63	1,00				1,5				
64	1,00					1,5			
65	1,00						1,5		
66	1,00							1,5	
67	1,00								1,5

c) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k + G3_k) + \gamma_Q \cdot (Q_{k,1} + \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2})$, kde

$$\gamma_G: \xi \cdot \gamma_{G,sup} = 1,15$$

$$\gamma_{G,inf} = 1,00$$

$$\gamma_Q = 1,50;$$

$$\psi_{0,i} = 0,5 \text{ pro sn\acute{ı}h a } 0,6 \text{ pro v\acute{ı}tr}$$

$$Q_{k,i} = S; SL; SN1; SN2; VY; V - Y; VX; V - X$$

Kombinace č.	G1 + G2 + G3	S	SL	SN1	SN2	VY	V-Y	VX	V-X
68	1,15	1,50				0,90			
69	1,15	1,50					0,90		
70	1,15	1,50						0,90	
71	1,15	1,50							0,90
72	1,15		1,50			0,90			
73	1,15		1,50				0,90		
74	1,15		1,50					0,90	
75	1,15		1,50						0,90
76	1,15			1,50		0,90			
77	1,15			1,50			0,90		
78	1,15			1,50				0,90	
79	1,15			1,50					0,90
80	1,15				1,50	0,90			
81	1,15				1,50		0,90		
82	1,15				1,50			0,90	
83	1,15				1,50				0,90
84	1,15	0,75				1,50			
85	1,15		0,75			1,50			
86	1,15			0,75		1,50			
87	1,15				0,75	1,50			
88	1,15	0,75					1,50		
89	1,15		0,75				1,50		
90	1,15			0,75			1,50		
91	1,15				0,75		1,50		
92	1,15	0,75						1,50	
93	1,15		0,75					1,50	
94	1,15			0,75				1,50	
95	1,15				0,75			1,50	
96	1,15	0,75							1,50
97	1,15		0,75						1,50
98	1,15			0,75					1,50
99	1,15				0,75				1,50
100	1,00	1,50				0,90			
101	1,00	1,50					0,90		
102	1,00	1,50						0,90	
103	1,00	1,50							0,90
104	1,00		1,50			0,90			
105	1,00		1,50				0,90		
106	1,00		1,50					0,90	
107	1,00		1,50						0,90
108	1,00			1,50		0,90			
109	1,00			1,50			0,90		

110	1,00			1,50				0,90	
111	1,00			1,50					0,90
112	1,00				1,50	0,90			
113	1,00				1,50		0,90		
114	1,00				1,50			0,90	
115	1,00				1,50				0,90
116	1,00	0,75				1,50			
117	1,00		0,75			1,50			
118	1,00			0,75		1,50			
119	1,00				0,75	1,50			
120	1,00	0,75					1,50		
121	1,00		0,75				1,50		
122	1,00			0,75			1,50		
123	1,00				0,75		1,50		
124	1,00	0,75						1,50	
125	1,00		0,75					1,50	
126	1,00			0,75				1,50	
127	1,00				0,75			1,50	
128	1,00	0,75							1,50
129	1,00		0,75						1,50
130	1,00			0,75					1,50
131	1,00				0,75				1,50

Kombinační výraz pro MSP dle tabulky A1.4 v [1], Charakteristická kombinace

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2}$$

a) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k + G3_k)$, kde

$$\gamma_G = 1,00;$$

Kombinace č.	$G1 + G2 + G3$
1	1,00

b) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k + G3_k) + \gamma_Q \cdot Q_{k,1}$, kde

$$\gamma_G = 1,00;$$

$$\gamma_Q = 1,0$$

$$Q_{k,1} = S; SL; SN1; SN2; VY; V - Y; VX; V - X$$

Kombinace č.	$G1 + G2 + G3$	S	SL	SN1	SN2	VY	V-Y	VX	V-X
2	1,00	1,00							
3	1,00		1,00						
4	1,00			1,00					
5	1,00				1,00				
6	1,00					1,00			
7	1,00						1,00		
8	1,00							1,00	
9	1,00								1,00

c) $\gamma_G \cdot (G1_k + G2_k + G3_k) + \gamma_Q \cdot (Q_{k,1} + \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2})$, kde

$$\gamma_G = 1,00;$$

$$\gamma_Q = 1,0$$

$$\psi_{0,i} = 0,5 \text{ pro sních a } 0,6 \text{ pro vítr}$$

$$Q_{k,i} = S; SL; SN1; SN2; VY; V - Y; VX; V - X$$

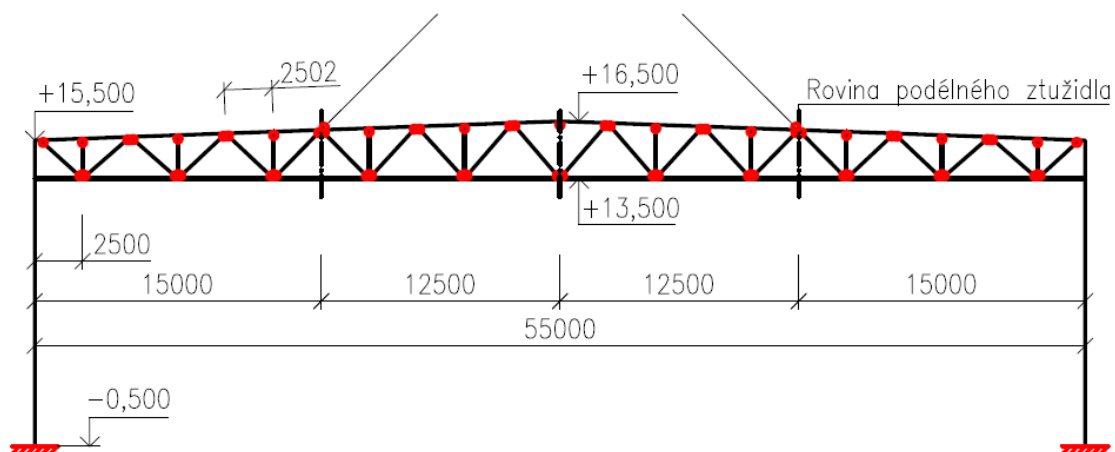
Kombinace č.	$G1 + G2 + G3$	S	SL	SN1	SN2	VY	V-Y	VX	V-X
10	1,00	1,00				0,60			
11	1,00	1,00					0,60		
12	1,00	1,00						0,60	
13	1,00	1,00							0,60
14	1,00		1,00			0,60			
15	1,00		1,00				0,60		
16	1,00		1,00					0,60	
17	1,00		1,00						0,60
18	1,00			1,00		0,60			
19	1,00			1,00			0,60		
20	1,00			1,00				0,60	
21	1,00			1,00					0,60
22	1,00				1,00	0,60			
23	1,00				1,00		0,60		
24	1,00				1,00			0,60	
25	1,00				1,00				0,60
26	1,00	0,50				1,00			
27	1,00		0,50			1,00			
28	1,00			0,50		1,00			
29	1,00				0,50	1,00			
30	1,00	0,50					1,00		
31	1,00		0,50				1,00		
32	1,00			0,50			1,00		
33	1,00				0,50		1,00		
34	1,00	0,50						1,00	
35	1,00		0,50					1,00	
36	1,00			0,50				1,00	
37	1,00				0,50			1,00	
38	1,00	0,50							1,00
39	1,00		0,50						1,00
40	1,00			0,50					1,00
41	1,00				0,50				1,00

5 Posouzení na mezní stav únosnosti

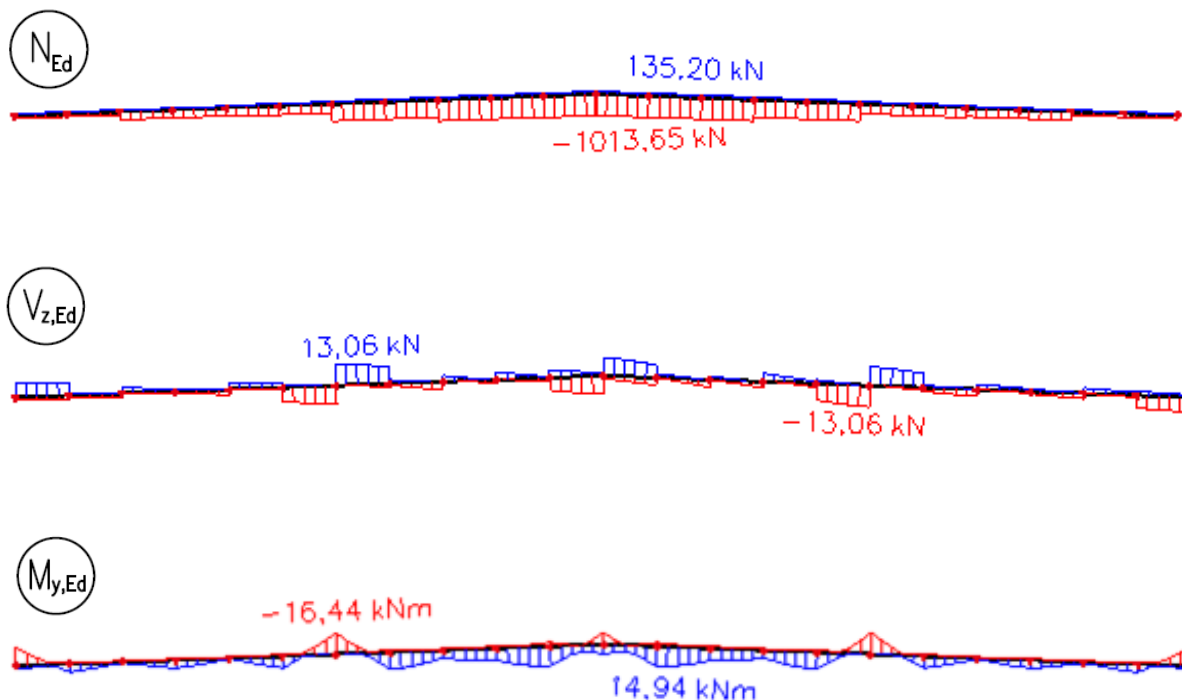
5.1 Vazník

Statický model

- připojení ke sloupu tuhé
- pásy vazníku průběžné
- výplňové pruty připojeny kloubově
- závěsy připojeny kloubově



Obálka vnitřních sil



5.1.1 Horní pás v polovině rozpětí

Vnitřní síly v kritickém průřezu Kombinace 52:

$$N_{Ed} = -958,33 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 12,04 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 14,91 \text{ kNm}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

$$L = 2,502 \text{ m}$$

Vzpěrná délka v rovině vazníku je dána vzdáleností styčníků výplňových prutů.

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 2,502 = 2,502 \text{ m}$$

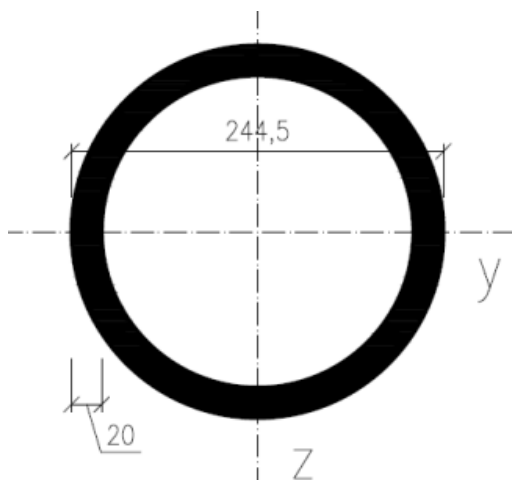
$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 2,501 \cdot \sqrt{\frac{1,410 \cdot 10^{-2}}{8,957 \cdot 10^{-5}}} = 31,38$$

Vzpěrná délka z roviny vazníku byla vzhledem k tomu, že střešní plášť byl uvažován jako netuhý, stanovena jako vzdálenost podélných ztužidel.

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L \cdot 5 = 1,0 \cdot 2,502 \cdot 5 = 12,510 \text{ m}$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 12,505 \cdot \sqrt{\frac{1,410 \cdot 10^{-2}}{8,957 \cdot 10^{-5}}} = 156,90$$

Průřezové charakteristiky CHS 244,5x20:



$$d = 2,445 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$t = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 1,410 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 8,957 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = W_{el} = 7,330 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = W_{pl} = 9,947 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{244,5}{20} = 12,23 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,13 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení:**Tlak:**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,41 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 5\,005,50 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{958,33}{5005,50} = \mathbf{0,19 \leq 1,00}$$

Vzpěrná únosnost:

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 8,957 \cdot 10^{-5}}{2,502^2} = 29\,679,34 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,410 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{29679,34}} = 0,411$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,411 - 0,2) + 0,411^2] = 0,607$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,607 + \sqrt{0,607^2 - 0,411^2}} = 0,949$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,949 \cdot 1,410 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 4\,750,22 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{958,33}{4750,22} = \mathbf{0,20 \leq 1,00}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 8,957 \cdot 10^{-5}}{12,510^2} = 1187,17 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,410 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1187,17}} = 2,053$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,053 - 0,2) + 2,053^2] = 2,803$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,803 + \sqrt{2,803^2 - 2,053^2}} = 0,212$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,212 \cdot 1,410 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 1\,062,51 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{958,33}{1\,062,51} = \mathbf{0,90 \leq 1,00}$$

Ohybový moment:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,330 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 260,22 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{14,91}{260,22} = \mathbf{0,057 \leq 1,0}$$

Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 1,410 \cdot 10^{-2} = 5\,005,50 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{el} = 355 \cdot 10^3 \cdot 7,330 \cdot 10^{-4} = 260,22 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,411$$

$$\chi_y = 0,949$$

$$\chi_z = 0,212$$

Pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje $\chi_{LT} = 1,0$.

Interakční součinitele podle přílohy B

$$\psi_y = -0,669$$

$$C_{my} = 0,9$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,411 \cdot \frac{958,33}{0,949 \cdot 5005,5} \right) \leq 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{958,33}{0,949 \cdot 5005,5} \right)$$

$$k_{yy} = 0,945 \leq 1,009 \Rightarrow k_{yy} = 0,945$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,945 = 0,567$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} = \frac{958,33}{0,949 \cdot 5005,50} + 0,945 \cdot \frac{14,91}{1,0 \cdot 260,22} = \mathbf{0,26 \leq 1,00}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} = \frac{958,33}{0,212 \cdot 5005,50} + 0,567 \cdot \frac{14,91}{1,0 \cdot 260,22} = \mathbf{0,94 \leq 1,00}$$

5.1.2 Horní pás ve třetině rozpětí

Vnitřní síly v kritickém průřezu K52:

$$N_{Ed} = -399,08 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 13,06 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 9,04 \text{ kNm}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

$$L = 2,502 \text{ m}$$

Vzpěrná délka v rovině vazníku je dána vzdáleností styčníků výplňových prutů.

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 2,502 = 2,502 \text{ m}$$

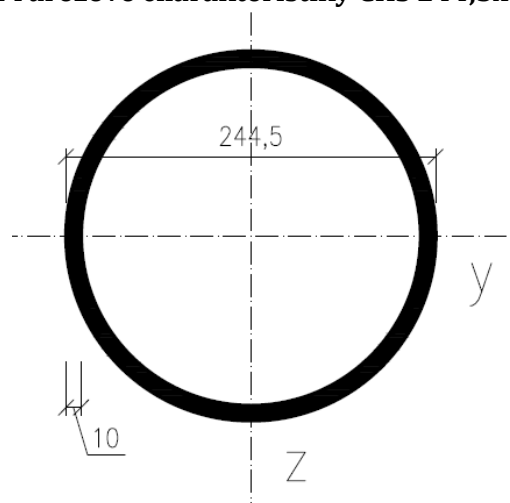
$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 2,502 \cdot \sqrt{\frac{7,370 \cdot 10^{-3}}{5,073 \cdot 10^{-5}}} = 30,14$$

Vzpěrná délka z roviny vazníku byla vzhledem k tomu, že střešní plášť byl uvažován jako netuhý, stanovena jako vzdálenost podélného ztužidla od uložení na sloupu.

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L \cdot 6 = 1,0 \cdot 2,502 \cdot 6 = 15,012 \text{ m}$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 15,012 \cdot \sqrt{\frac{7,370 \cdot 10^{-3}}{5,073 \cdot 10^{-5}}} = 179,31$$

Průřezové charakteristiky CHS 244,5x10:



$$d = 2,445 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$t = 10 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 7,370 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 5,073 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = W_{el} = 4,150 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = W_{pl} = 5,416 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{244,5}{10} = 24,45 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,13 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení:**Tlak:**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,370 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 2\,616,35 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{399,08}{2\,616,35} = \mathbf{0,15 \leq 1,00}$$

Vzpěrná únosnost:

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 5,073 \cdot 10^{-5}}{2,502^2} = 16\,809,57 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{7,370 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{16\,809,57}} = 0,395$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,395 - 0,2) + 0,395^2] = 0,598$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,598 + \sqrt{0,598^2 - 0,395^2}} = 0,955$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,955 \cdot 7,370 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 2\,498,01 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{399,08}{2\,498,01} = \mathbf{0,16 \leq 1,00}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 5,073 \cdot 10^{-5}}{15,012^2} = 466,93 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{7,370 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{466,93}} = 2,367$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,367 - 0,2) + 2,367^2] = 3,529$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,529 + \sqrt{3,529^2 - 2,367^2}} = 0,172$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,172 \cdot 7,370 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 450,01 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{399,08}{450,01} = \mathbf{0,87 \leq 1,00}$$

Ohybový moment:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,150 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 147,33 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{9,04}{147,33} = \mathbf{0,057 \leq 1,0}$$

Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 7,370 \cdot 10^{-3} = 2616,35 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{el} = 355 \cdot 10^3 \cdot 4,150 \cdot 10^{-4} = 147,33 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,395$$

$$\chi_y = 0,955$$

$$\chi_z = 0,172$$

Pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje $\chi_{LT} = 1,0$.

Interakční součinitele podle přílohy B

$$\psi_y = 0,037$$

$$C_{my} = 0,9$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,395 \cdot \frac{399,08}{\frac{0,955 \cdot 2616,35}{1,00}} \right) \leq 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{399,08}{\frac{0,955 \cdot 2616,35}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,934 \leq 0,986 \Rightarrow k_{yy} = 0,934$$

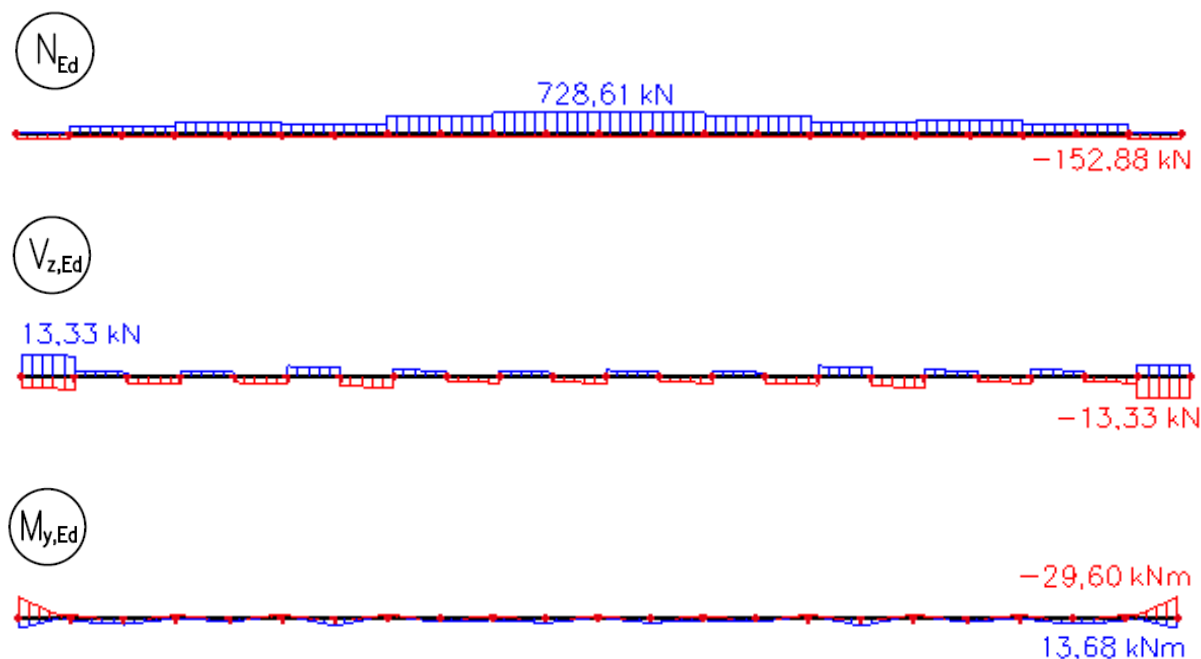
$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,934 = 0,560$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{399,08}{\frac{0,955 \cdot 2616,35}{1,00}} + 0,934 \cdot \frac{9,04}{\frac{1,0 \cdot 147,33}{1,00}} = \mathbf{0,22 \leq 1,00}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{399,08}{\frac{0,172 \cdot 2616,35}{1,00}} + 0,560 \cdot \frac{9,04}{\frac{1,0 \cdot 147,33}{1,00}} = \mathbf{0,92 \leq 1,00}$$

5.1.3 Dolní pás

Obálka vnitřních sil:



Vnitřní síly v kritickém průřezu 52:

$$N_{Ed} = 728,61 \text{ kN}$$

Vnitřní síly v kritickém průřezu 74:

$$N_{Ed} = -152,88 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 29,60 \text{ kNm}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

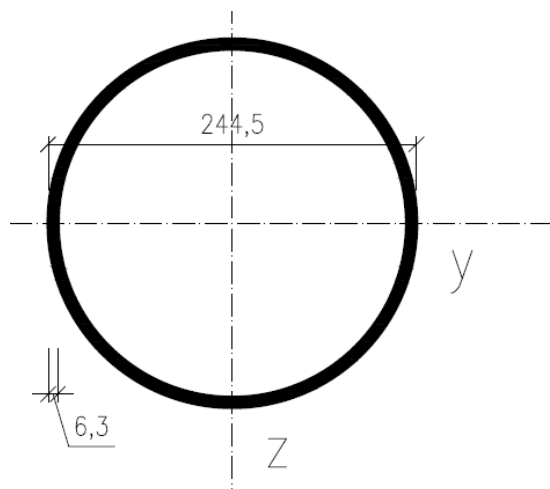
$$L = 2,500 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 2,500 = 2,500 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L \cdot 6 = 1,0 \cdot 2,500 \cdot 6 = 15,000 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 2,500 \cdot \sqrt{\frac{4,710 \cdot 10^{-3}}{3,346 \cdot 10^{-5}}} = 29,66$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 15,000 \cdot \sqrt{\frac{4,710 \cdot 10^{-3}}{3,346 \cdot 10^{-5}}} = 177,97$$

Průřezové charakteristiky CHS 244,5x6,3:

$$d = 2,445 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$t = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 4,710 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 3,346 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = W_{el} = 2,740 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = W_{pl} = 3,519 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{244,5}{6,3} = 38,81 \leq 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0,814^2 = 46,38 \Rightarrow \text{třída průřezu 2}$$

Posouzení:**Tah:**

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,710 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 1672,05 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{728,61}{1672,05} = 0,44 \leq 1,0$$

Tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,710 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 1672,05 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{152,88}{1672,05} = 0,10 \leq 1,00$$

Vzpěrná únosnost:

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 3,346 \cdot 10^{-5}}{2,500^2} = 11\,095,96 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4,710 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{11095,96}} = 0,388$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,388 - 0,2) + 0,388^2] = 0,595$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,595 + \sqrt{0,595^2 - 0,388^2}} = 0,956$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,956 \cdot 4,710 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 1\,598,38 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{152,88}{1159,38} = \mathbf{0,10 \leq 1,00}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 3,346 \cdot 10^{-5}}{15,000^2} = 308,22 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4,710 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{308,22}} = 2,329$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,329 - 0,2) + 2,329^2] = 3,436$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,436 + \sqrt{3,436^2 - 2,329^2}} = 0,168$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,168 \cdot 4,710 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 280,44 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{152,88}{280,44} = \mathbf{0,54 \leq 1,00}$$

Ohybový moment:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,740 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 97,27 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{29,60}{97,27} = \mathbf{0,308 \leq 1,0}$$

Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 4,710 \cdot 10^{-3} = 1672,05 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{el} = 355 \cdot 10^3 \cdot 2,740 \cdot 10^{-4} = 97,27 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,388$$

$$\chi_y = 0,956$$

$$\chi_z = 0,168$$

Pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje $\chi_{LT} = 1,0$.

Interakční součinitele podle přílohy B

$$\psi_y = -0,117$$

$$C_{my} = 0,9$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,388 \cdot \frac{152,67}{\frac{0,956 \cdot 1672,05}{1,00}} \right) \leq 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{152,67}{\frac{0,956 \cdot 1672,05}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,920 \leq 0,952 \Rightarrow k_{yy} = 0,920$$

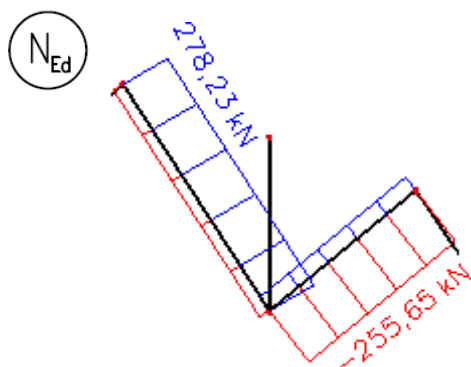
$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,920 = 0,552$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} = \frac{152,88}{\frac{0,956 \cdot 1672,05}{1,00}} + 0,920 \cdot \frac{29,60}{\frac{1,0 \cdot 97,27}{1,00}} = \mathbf{0,38 \leq 1,00}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} = \frac{152,88}{\frac{0,168 \cdot 1672,05}{1,00}} + 0,522 \cdot \frac{29,60}{\frac{1,0 \cdot 97,27}{1,00}} = \mathbf{0,70 \leq 1,00}$$

5.1.4 Výplňové pruty vazníku – diagonály

Obálka vnitřních sil



Vnitřní síly - K53

$$N_{Ed} = 278,23 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -255,65 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

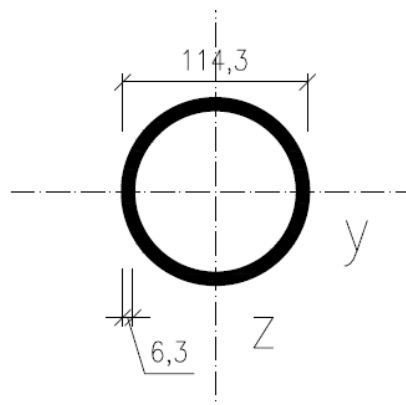
$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

$$L = 3,700 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 3,700 = 3,700 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \lambda = L_{cr} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 3,700 \cdot \sqrt{\frac{2,138 \cdot 10^{-3}}{3,127 \cdot 10^{-6}}} = 96,95$$

Průřezové charakteristiky CHS 114,3x6,3:

$$d = 1,143 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$t = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 2,138 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 3,127 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{114,3}{6,3} = 18,14 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,13 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení:**Tah:**

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,138 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 758,99 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{278,23}{758,99} = 0,37 \leq 1,0$$

Tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,138 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 758,99 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{255,65}{758,99} = 0,34 \leq 1,00$$

Vzpěrná únosnost:

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 3,127 \cdot 10^{-6}}{3,700^2} = 473,42 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,138 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{473,42}} = 1,266$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,266 - 0,2) + 1,266^2] = 1,413$$

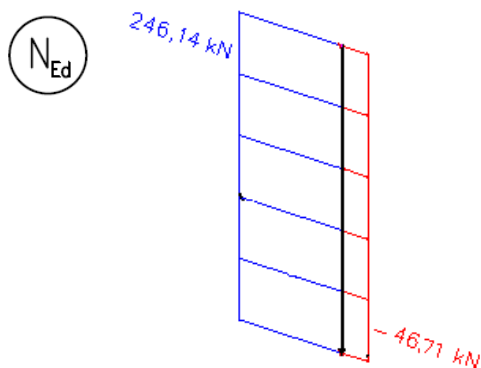
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,413 + \sqrt{1,413^2 - 1,266^2}} = 0,490$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,490 \cdot 2,138 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 371,91 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{255,65}{371,91} = 0,70 \leq 1,00$$

5.1.5 Výplňové pruty vazníku – svislice

Obálka vnitřních sil



Vnitřní síly – K52

$$N_{Ed} = 246,52 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -46,71 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

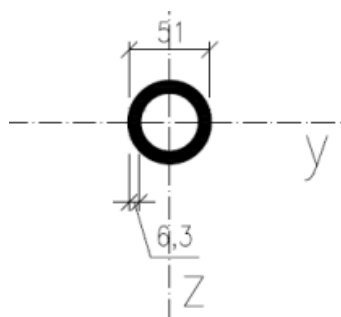
Geometrie:

$$L = 2,818 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 2,818 = 2,818 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \lambda = L_{cr} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 2,818 \cdot \sqrt{\frac{8,850 \cdot 10^{-4}}{2,250 \cdot 10^{-7}}} = 176,73$$

Průřezové charakteristiky:



$$d = 5,100 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$t = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 8,850 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 2,250 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{51}{6,3} = 8,1 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,13 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení:**Tah:**

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,850 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 314,18 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{246,52}{314,18} = \mathbf{0,78 \leq 1,0}$$

Tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,850 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 314,18 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{46,59}{314,18} = \mathbf{0,15 \leq 1,00}$$

Vzpěrná únosnost:

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,250 \cdot 10^{-7}}{2,818^2} = 58,72 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{8,850 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{58,72}} = 2,313$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,313 - 0,2) + 2,313^2] = 3,397$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,397 + \sqrt{3,397^2 - 2,313^2}} = 0,170$$

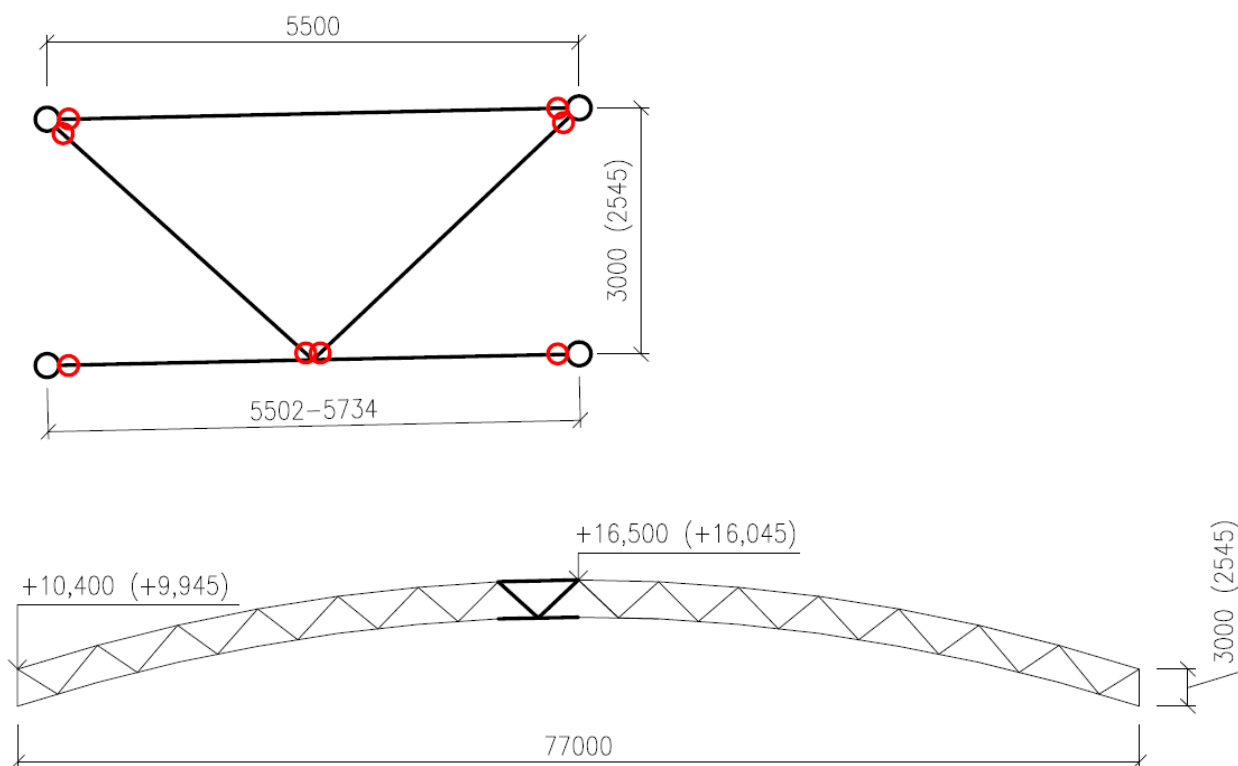
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,170 \cdot 8,850 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 53,39 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{46,59}{53,39} = \mathbf{0,87 \leq 1,00}$$

5.2 Podélné ztužidlo

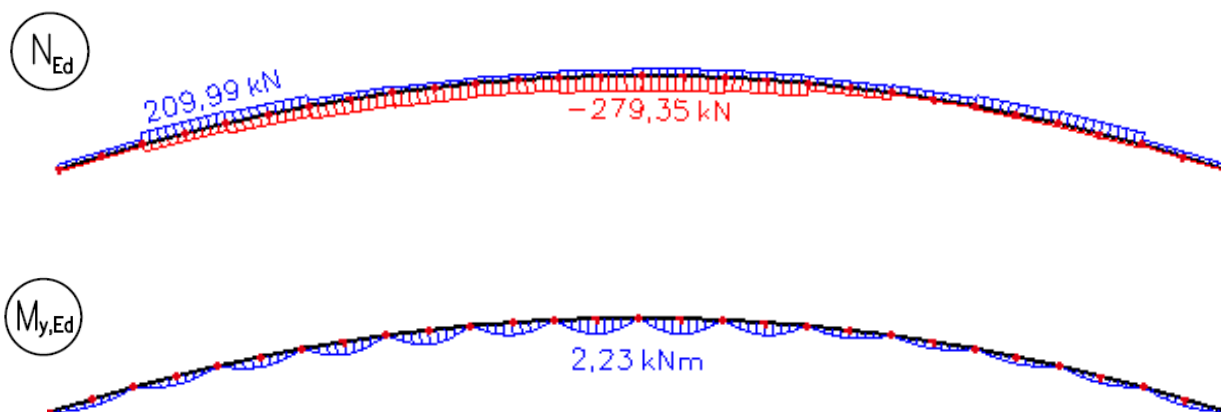
Statický model

- horní i dolní pás připojeny na vazníky kloubově
- výplňové pruty připojeny kloubově



5.2.1 Horní pás podélného ztužidla

Obálka vnitřních sil



Vnitřní síly v kritickém průřezu K52:

$$N_{Ed} = -279,35 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 2,23 \text{ kNm}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

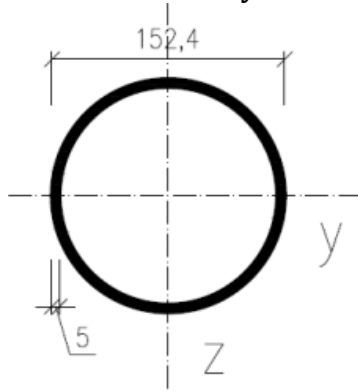
$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

$$L = 5,501 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 5,501 = 5,501 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \lambda = L_{cr} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 5,501 \cdot \sqrt{\frac{2,320 \cdot 10^{-3}}{6,300 \cdot 10^{-6}}} = 105,56$$

Průřezové charakteristiky:

$$d = 1,524 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$t = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 2,320 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 6,300 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = W_{pl} = 1,082 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{152,4}{5} = 30,48 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,13 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení:**Tlak:**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,320 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 823,60 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{279,35}{823,60} = 0,34 \leq 1,00$$

Vzpěrná únosnost:

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 6,300 \cdot 10^{-6}}{5,501^2} = 431,50 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,320 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{431,50}} = 1,382$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,382 - 0,2) + 1,382^2] = 1,578$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,578 + \sqrt{1,578^2 - 1,382^2}} = 0,427$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,427 \cdot 2,320 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 352,01 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{279,35}{352,01} = \mathbf{0,79 \leq 1,00}$$

Ohybový moment:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,082 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 38,41 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{2,23}{38,41} = \mathbf{0,07 \leq 1,0}$$

Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 2,320 \cdot 10^{-3} = 823,60 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 355 \cdot 10^3 \cdot 1,082 \cdot 10^{-4} = 38,41 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,382$$

$$\chi_y = \chi_z = 0,427$$

Pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje $\chi_{LT} = 1,0$.

Interakční součinitele podle přílohy B

$$\psi_y = 0,0$$

$$C_{my} = 0,9$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \cdot \left(1 + (1,382 - 0,2) \cdot \frac{276,61}{0,427 \cdot 823,60} \right) \leq 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{276,61}{0,427 \cdot 823,60} \right)$$

$$k_{yy} = 1,737 \not\leq 1,466 \Rightarrow k_{yy} = 1,466$$

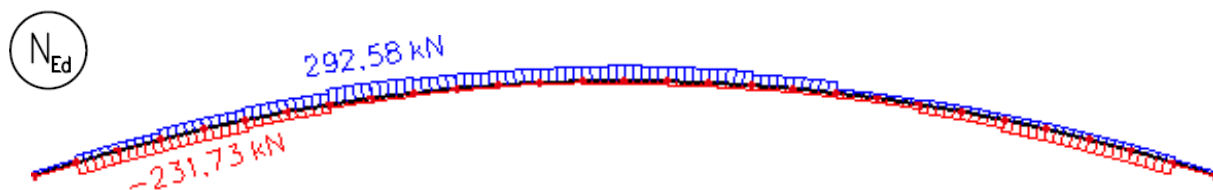
$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,466 = 0,880$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} = \frac{276,61}{0,427 \cdot 823,60} + 1,466 \cdot \frac{2,19}{1,0 \cdot 38,41} = \mathbf{0,87 \leq 1,00}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} = \frac{276,61}{0,427 \cdot 823,60} + 0,880 \cdot \frac{2,19}{1,0 \cdot 38,41} = \mathbf{0,84 \leq 1,00}$$

5.2.2 Dolní pás podélného ztužidla

Obálka vnitřních sil



Vnitřní síly v kritickém průřezu K77:

$$N_{Ed} = 292,58 \text{ kN}$$

Vnitřní síly v kritickém průřezu K52:

$$N_{Ed} = -231,73 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

$$L = 2,751 \text{ m}$$

Vzpěrná délka v rovině ztužidla je pro dolní pás půlená diagonálou.

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 2,751 = 2,751 \text{ m}$$

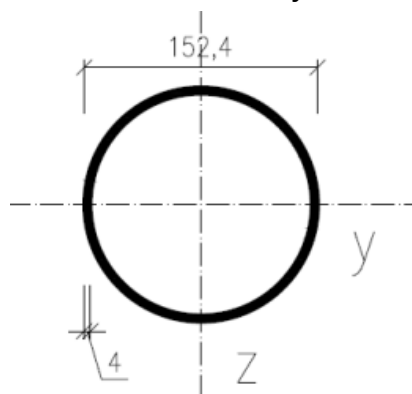
$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 2,751 \cdot \sqrt{\frac{1,865 \cdot 10^{-3}}{5,137 \cdot 10^{-6}}} = 52,42$$

Vzpěrná délka z roviny ztužidla je dána vzdáleností vazníků.

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L \cdot 2 = 1,0 \cdot 2,751 \cdot 2 = 5,502 \text{ m}$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 5,502 \cdot \sqrt{\frac{1,865 \cdot 10^{-3}}{5,137 \cdot 10^{-6}}} = 104,83$$

Průřezové charakteristiky:



$$d = 1,524 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$t = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 1,865 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 5,137 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = W_{el} = 6,742 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{152,4}{4} = 38,1 \leq 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0,814^2 = 46,38 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení:**Tah:**

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,865 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 662,08 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{292,58}{662,08} = \mathbf{0,44 \leq 1,0}$$

Tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,865 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 662,08 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{231,73}{662,08} = \mathbf{0,35 \leq 1,00}$$

Vzpěrná únosnost:

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 5,137 \cdot 10^{-6}}{5,502^2} = 351,71 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,865 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{351,71}} = 1,372$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,372 - 0,2) + 1,372^2] = 1,564$$

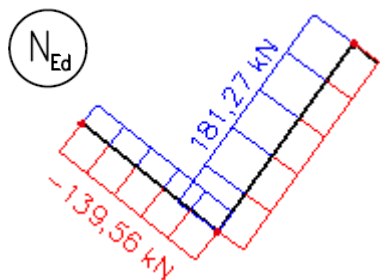
$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,564 + \sqrt{1,564^2 - 1,372^2}} = 0,432$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,432 \cdot 1,865 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 285,94 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{231,73}{285,94} = \mathbf{0,81 \leq 1,00}$$

5.2.3 Výplňové pruty podélného ztužidla

Obálka vnitřních sil



Vnitřní síly v kritickém průřezu K123:

$$N_{Ed} = 181,27 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -139,56 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

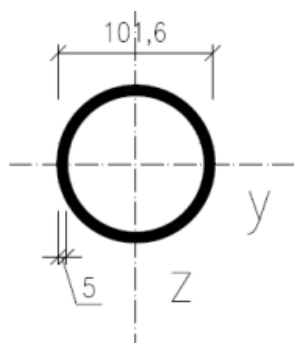
Geometrie:

$$L = 4,400 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 2,818 = 4,400 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \lambda = L_{cr} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 4,400 \cdot \sqrt{\frac{1,520 \cdot 10^{-3}}{1,770 \cdot 10^{-6}}} = 128,94$$

Průřezové charakteristiky:



$$d = 101,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$t = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 1,520 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 1,770 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{101,6}{5} = 20,32 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,13 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení:**Tah:**

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,520 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 539,60 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{181,27}{539,60} = \mathbf{0,33 \leq 1,0}$$

Tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,520 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 539,60 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{139,56}{539,60} = \mathbf{0,26 \leq 1,00}$$

Vzpěrná únosnost:

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,770 \cdot 10^{-6}}{4,400^2} = 189,49 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,520 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{189,49}} = 1,687$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,687 - 0,2) + 1,687^2] = 2,080$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,080 + \sqrt{2,080^2 - 1,687^2}} = 0,303$$

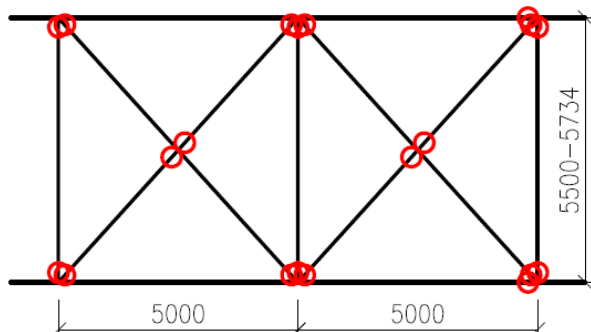
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,303 \cdot 1,520 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 161,74 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{139,56}{161,74} = \mathbf{0,86 \leq 1,00}$$

5.3 Příčné ztužidlo

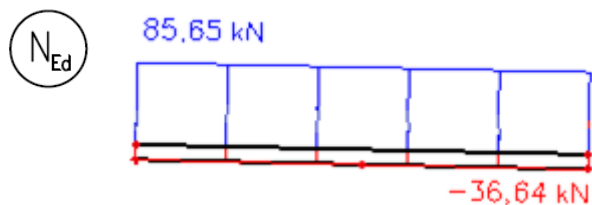
Statický model

- horní i dolní pás připojeny na vazníky kloubově
- výplňové pruty připojeny kloubově



5.3.1 Příčné ztužidlo – vzpěry

Obálka vnitřních sil



Vnitřní síly K66

$$N_{Ed} = 74,65 \text{ kN}$$

Vnitřní síly K119

$$N_{Ed} = -30,30 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

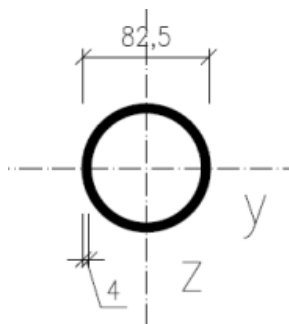
$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

$$L = 5,734 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 5,734 = 5,734 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \lambda = L_{cr} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 5,734 \cdot \sqrt{\frac{8,920 \cdot 10^{-4}}{6,960 \cdot 10^{-7}}} = 188,58$$

Průřezové charakteristiky:

$$d = 8,250 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$t = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 8,920 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 6,960 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{82,5}{3,6} = 22,92 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,13 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení:**Tah:**

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,920 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 316,66 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{74,56}{316,66} = 0,235 \leq 1,0$$

Tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,920 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 316,66 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{30,30}{316,66} = 0,10 \leq 1,00$$

Vzpěrná únosnost:

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 6,960 \cdot 10^{-7}}{5,734^2} = 43,87 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{8,920 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{43,87}} = 2,687$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,687 - 0,2) + 2,687^2] = 4,340$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{4,340 + \sqrt{4,340^2 - 2,687^2}} = 0,128$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,128 \cdot 8,920 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 40,67 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{30,30}{40,67} = 0,75 \leq 1,00$$

5.3.2 Příčné ztužidlo – táhla

Vnitřní síly K97

$$N_{Ed} = 38,95 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S460

$$f_y = 460 \text{ MPa}$$

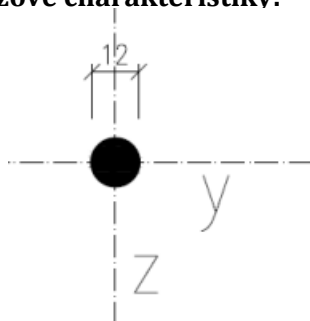
$$f_u = 610 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

$$L = 3,889 \text{ m}$$

Průřezové charakteristiky:



$$d = 1,200 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A = 1,131 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Posouzení:

Táh:

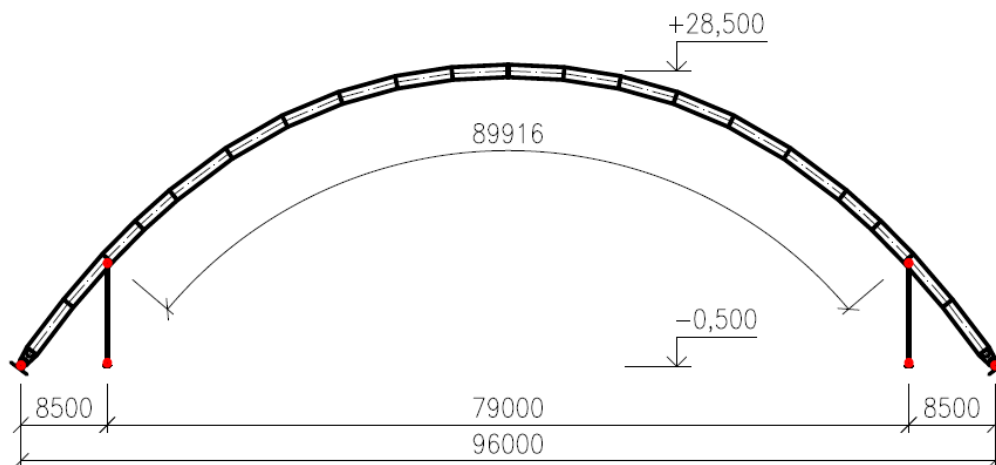
$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,131 \cdot 10^{-4} \cdot 460 \cdot 10^3}{1,00} = 52,03 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{38,95}{52,03} = \mathbf{0,75} \leq \mathbf{1,0}$$

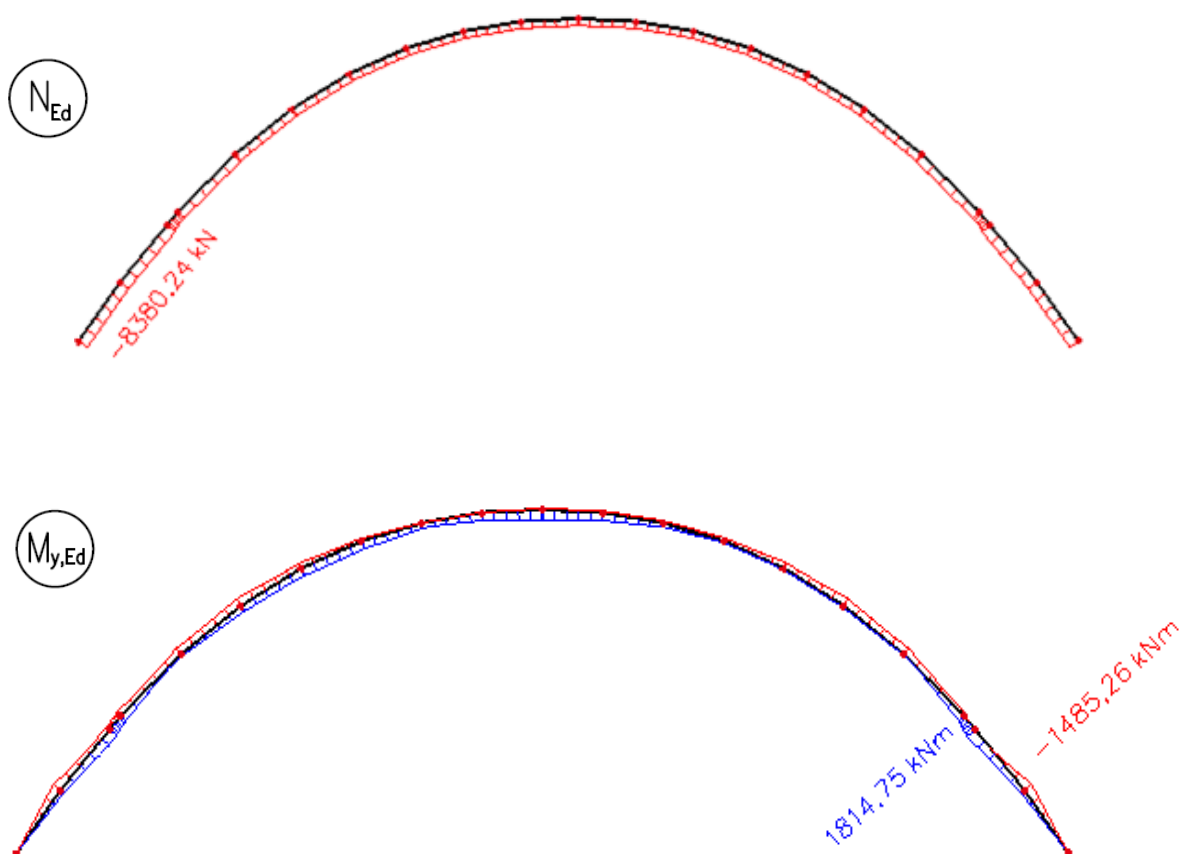
5.4 Horní a dolní pás – globální stabilita oblouku

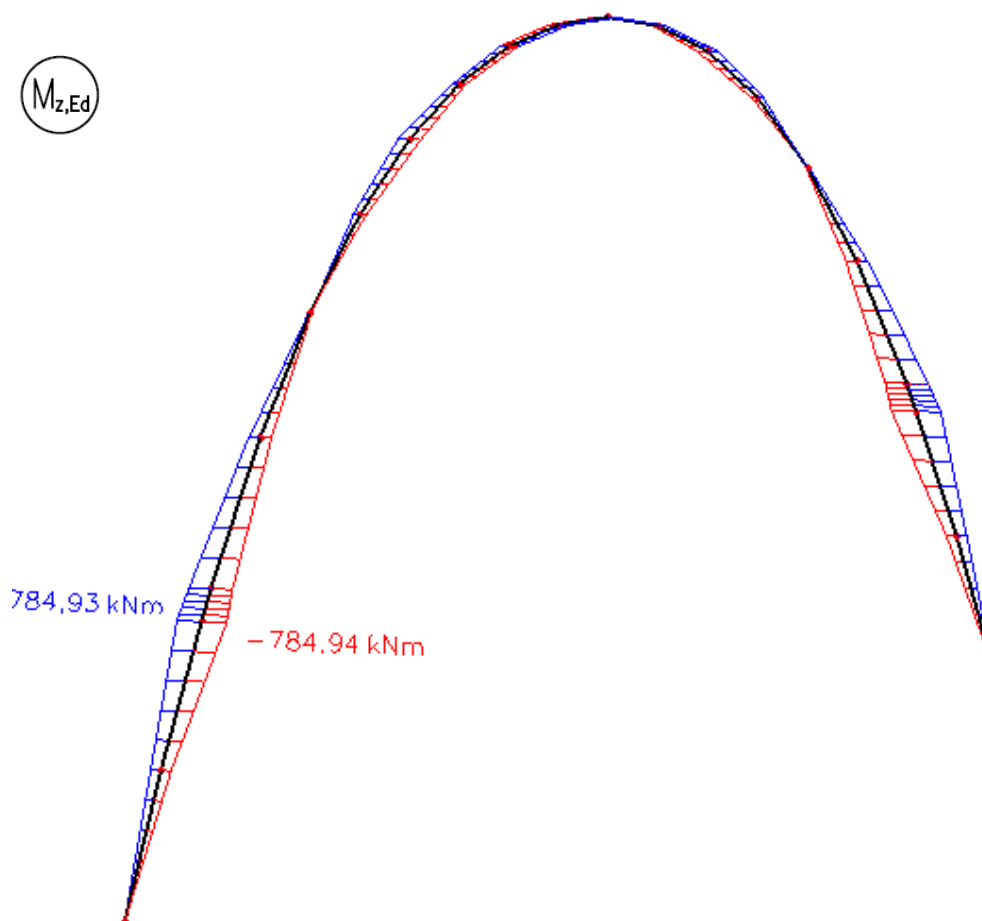
Statický model

- kloubově uložený na obou stranách
- kotvení lany v příčném směru pro zabezpečení stability



Obálka vnitřních sil





Vnitřní síly v kritickém průřezu K52:

$$N_{Ed} = -7\,046,54 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 287,10 \text{ kNm}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

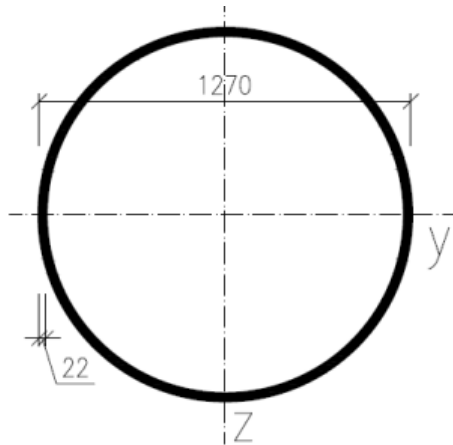
$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

$$L = 89,92 \text{ m}$$

Vzpěrná délka pro vybočení v rovině oblouku byla uvažována jako 62,5% délky mezi kotevními lany.

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 0,625 \cdot 89,92 = 56,20 \text{ m}$$

Průřezové charakteristiky:

$$d = 1,270 \text{ m}$$

$$t = 22,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 8,700 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = I = 1,694 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = W_{el} = 2,668 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{d}{t} = \frac{1270}{22,2} = 57,21 \leq 90 \cdot \varepsilon^2 = 90 \cdot 0,814^2 = 59,63 \Rightarrow \text{třída průřezu 3}$$

Posouzení:**Vzpěrná únosnost:**

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,694 \cdot 10^{-2}}{56,20^2} = 11\,116,01 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{8,700 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{11\,116,01}} = 1,667$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (1,667 - 0,2) + 1,667^2 \right] = 2,043$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,043 + \sqrt{2,043^2 - 1,152^2}} = 0,268$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,268 \cdot 8,700 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 8\,278,98 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{7046,54}{8\,278,98} = \mathbf{0,85 \leq 1,0}$$

Ohybový moment:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,668 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 9\,471,4 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{287,10}{9\,471,4} = 0,03 \leq 1,0$$

Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 8,700 \cdot 10^{-2} = 30\,885 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{el} = 355 \cdot 10^3 \cdot 2,668 \cdot 10^{-2} = 9\,471 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,667$$

$$\chi_y = 0,268$$

Pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje $\chi_{LT} = 1,0$.

Interakční součinitele podle přílohy B

$$\psi_y = 0,0$$

$$C_{my} = 0,9$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \cdot \left(1 + 1,667 \cdot 0,6 \cdot \frac{7046,54}{\frac{0,268 \cdot 30885}{1,00}} \right) \leq 0,9 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{7046,54}{\frac{0,268 \cdot 30885}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,666 \not\leq 1,360 \Rightarrow k_{yy} = 1,360$$

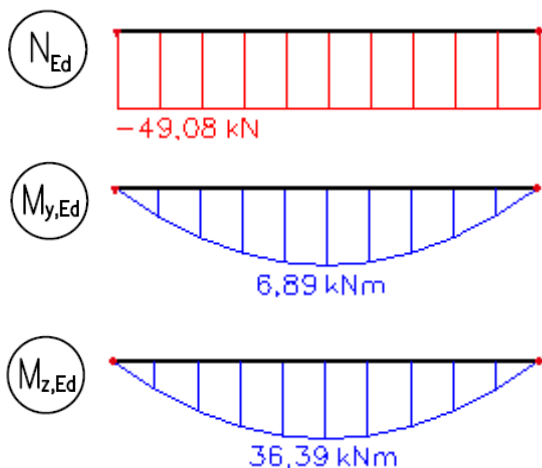
$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,360 = 0,816$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{7046,54}{\frac{0,268 \cdot 30885}{1,00}} + 1,360 \cdot \frac{287,10}{\frac{1,0 \cdot 9471}{1,00}} = 0,89 \leq 1,00$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{7046,54}{\frac{0,468 \cdot 30885}{1,00}} + 0,816 \cdot \frac{287,10}{\frac{1,0 \cdot 9471}{1,00}} = 0,51 \leq 1,00$$

5.5 Paždík

Obálka vnitřních sil



Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu K96:

$$N_{Ed} = -49,08 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 6,89 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 36,39 \text{ kNm}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

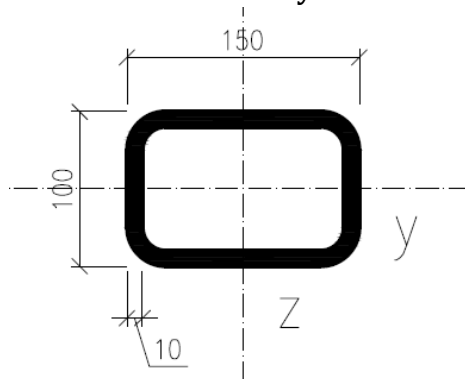
$$L = 5,500 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 5,500 = 5,500 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 5,500 \cdot \sqrt{\frac{4,260 \cdot 10^{-3}}{6,140 \cdot 10^{-6}}} = 144,87$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 5,500 \cdot \sqrt{\frac{4,260 \cdot 10^{-3}}{1,160 \cdot 10^{-5}}} = 105,40$$

Průřezové charakteristiky:



$$t = 10,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 4,260 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 6,140 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,160 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = 1,500 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 1,990 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t} = \frac{100}{10} = 10 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,130 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení:**Vzpěrná únosnost:**

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti $a \Rightarrow \alpha = 0,21$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 6,140 \cdot 10^{-6}}{5,500^2} = 420,69 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4,260 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{420,69}} = 1,860$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,860 - 0,2) + 1,860^2] = 2,472$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,472 + \sqrt{2,472^2 - 1,860^2}} = 0,215$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,215 \cdot 4,260 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 325,14 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{49,08}{325,14} = \mathbf{0,15 \leq 1,0}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,160 \cdot 10^{-5}}{5,500^2} = 794,79 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4,260 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{794,79}} = 1,379$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,379 - 0,2) + 1,379^2] = 1,575$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,575 + \sqrt{1,575^2 - 1,379^2}} = 0,428$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,428 \cdot 4,260 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 647,31 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{49,08}{647,31} = \mathbf{0,08 \leq 1,0}$$

Ohybový moment:

$$M_{y,c,Rd} = M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,500 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 53,25 \text{ kNm}$$

$$M_{z,c,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,990 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 70,65 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}} = \frac{6,89}{53,25} = 0,129 \leq 1,0$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}} = \frac{36,39}{70,65} = 0,515 \leq 1,0$$

Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 4,260 \cdot 10^{-3} = 1512,3 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 355 \cdot 10^3 \cdot 1,500 \cdot 10^{-4} = 53,25 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl,z} = 355 \cdot 10^3 \cdot 1,990 \cdot 10^{-4} = 70,65 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,860$$

$$\bar{\lambda}_z = 1,379$$

$$\chi_y = 0,215$$

$$\chi_z = 0,428$$

Pro pruty necitlivé na distorzní deformace se uvažuje $\chi_{LT} = 1,0$.

Interakční součinitele podle přílohy B

$$\alpha_{h,y} = \alpha_{h,z} = \alpha_h = 0$$

$$\psi_y = \psi_z = 0$$

$$C_{my} = C_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left(1 + (1,860 - 0,2) \cdot \frac{49,08}{\frac{0,215 \cdot 1512,3}{1,00}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{49,08}{\frac{0,215 \cdot 1512,3}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,188 \not\leq 1,065 \Rightarrow k_{yy} = 1,065$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,065 = 0,639$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{49,08}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{49,08}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \cdot \left(1 + (1,379 - 0,2) \cdot \frac{49,08}{\frac{0,428 \cdot 1512,3}{1,00}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{49,08}{\frac{0,428 \cdot 1512,3}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,035 \nless 1,007 \Rightarrow k_{zz} = 1,007$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,007 = 0,604$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{49,08}{\frac{0,215 \cdot 1512,3}{1,00}} + 1,605 \cdot \frac{6,89}{\frac{1,0 \cdot 53,25}{1,00}} + 0,604 \cdot \frac{36,39}{\frac{1,0 \cdot 70,65}{1,00}} = \mathbf{0,71 \leq 1,0}$$

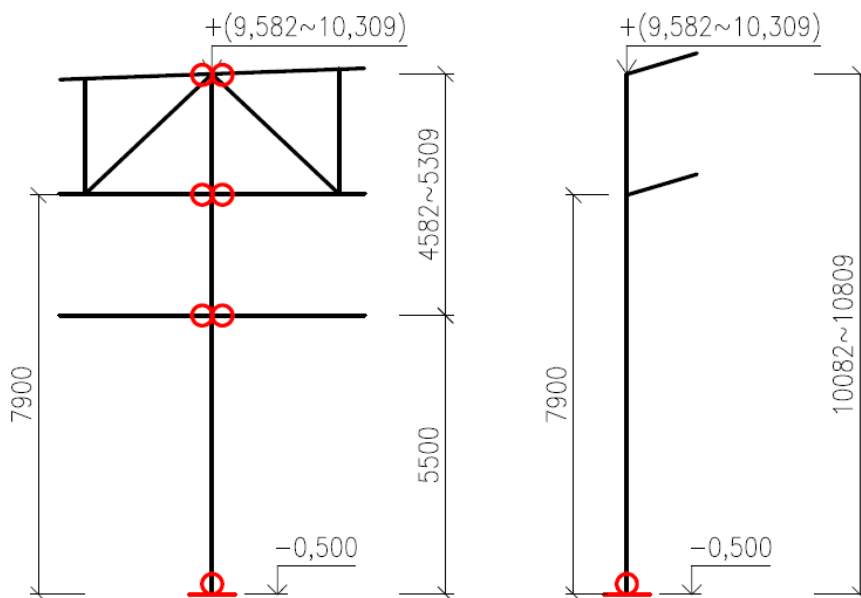
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

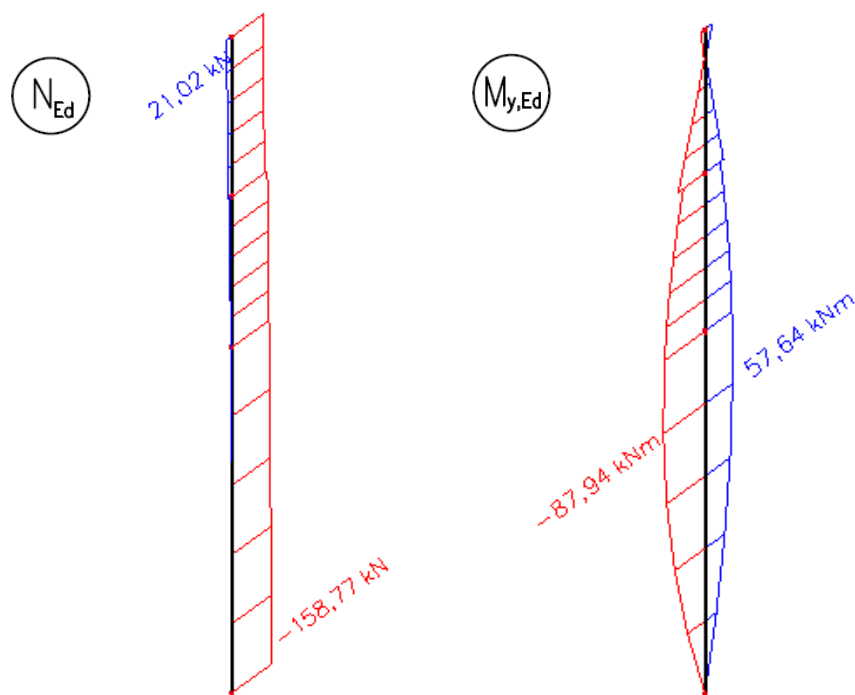
$$\frac{49,08}{\frac{0,428 \cdot 1512,3}{1,00}} + 0,639 \cdot \frac{6,89}{\frac{1,0 \cdot 53,25}{1,00}} + 1,007 \cdot \frac{36,39}{\frac{1,0 \cdot 70,65}{1,00}} = \mathbf{0,72 \leq 1,0}$$

5.6 Sloupy [(B-K); 2'] a [(B-K); 16'], konkrétně [F;2']

Statický model

- ve směru osy y kloubové uložení na obou koncích, kloubově připojené pažbdky
- ve směru osy z kloubové uložení, tuhé připojení na vazník



Obálka vnitřních sil**Vnitřní síly v kritickém průřezu K99:**

$$N_{Ed} = -19,47 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 87,94 \text{ kNm}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

Geometrie:

$$L = 7,900 \text{ m}$$

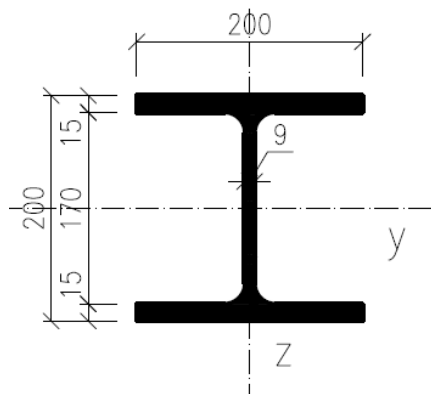
$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 2,0 \cdot 7,900 = 15,800 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = L_{cr,\omega} = 5,500 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 15,800 \cdot \sqrt{\frac{7,810 \cdot 10^{-3}}{5,700 \cdot 10^{-5}}} = 184,95$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 5,500 \cdot \sqrt{\frac{7,810 \cdot 10^{-3}}{2,000 \cdot 10^{-5}}} = 108,69$$

$$\lambda_\omega = \sqrt{\frac{I_p}{\frac{I_\omega}{L_{cr,\omega}^2} + \frac{I_t}{25}}} = \sqrt{\frac{7,700 \cdot 10^{-5}}{\frac{1,710 \cdot 10^{-7}}{5,500^2} + \frac{5,930 \cdot 10^{-7}}{25}}} = 51,20$$

Průřezové charakteristiky:

$$A = 7,810 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 5,700 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 2,000 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = 6,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 3,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_t = 5,930 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_\omega = 1,710 \cdot 10^{-7} \text{ m}^6$$

$$I_p = I_y + I_z = 7,700 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,0854 \text{ m}$$

$$i_z = 0,0507 \text{ m}$$

$$i_0 = \sqrt{i_y^2 + i_z^2} = \sqrt{0,0854^2 + 0,0507^2} = 0,099 \text{ m}$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\frac{c}{t} = \frac{134}{9} = 14,89 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,817 = 26,96 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{77,5}{15} = 5,17 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,33 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení:**Vzpěrná únosnost:**

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti

$$N_{cr,\omega} = \frac{1}{i_0^2} \left(G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_\omega}{L_{cr,\omega}^2} \right) = \frac{1}{0,099^2} \left(81 \cdot 5,930 \cdot 10^{-1} + \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 1,710 \cdot 10^{-1}}{5,5^2} \right) = 9\,864 \text{ kN}$$

Křivka vzpěrné pevnosti $b \Rightarrow \alpha = 0,34$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 5,700 \cdot 10^{-5}}{15,8^2} = 473,24 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{7,810 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{473,24}} = 2,420$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (2,420 - 0,2) + 2,420^2] = 3,806$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{3,806 + \sqrt{3,806^2 - 2,420^2}} = 0,148$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,148 \cdot 7,810 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 411,17 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{158,77}{411,17} = \mathbf{0,386 \leq 1,0}$$

Křivka vzpěrné pevnosti $c \Rightarrow \alpha = 0,49$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 2,000 \cdot 10^{-5}}{5,5^2} = 1370,33 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{7,810 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1370,33}} = 1,422$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,422 - 0,2) + 1,422^2] = 1,811$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,811 + \sqrt{1,811^2 - 1,422^2}} = 0,341$$

Klopení

$$\psi = 0,0$$

$$k_z = k_\omega = 1$$

$$k_{\omega t} = \frac{\pi}{k_\omega \cdot L_\omega} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 5,5} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 1,710}{81 \cdot 5,930}} = 0,494$$

$$C_1 = (0,310 + 0,428 \cdot \psi + 0,262 \cdot \psi^2)^{-0,5} = (0,310 + 0,428 \cdot 0,0 + 0,262 \cdot 0,00^2)^{-0,5} = 1,80$$

$$z_g = z_j = 0 \Rightarrow \zeta_g = \zeta_j = 0$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + k_{\omega t}^2} = \frac{1,80}{1} \cdot \sqrt{1 + 0,494^2} = 2,008$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_\omega} = 2,008 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 2,000 \cdot 81 \cdot 5,930}}{5,5} = 515,16 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{6,43 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{515,16}} = 0,666$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,666 - 0,2) + 0,666^2] = 0,771$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,771 + \sqrt{0,771^2 - 0,666^2}} = 0,863$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,863 \cdot 6,43 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 196,97 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{87,94}{196,97} = \mathbf{0,45 \leq 1,0}$$

Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 10^3 \cdot 7,810 \cdot 10^{-3} = 2772,55 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 355 \cdot 10^3 \cdot 6,43 \cdot 10^{-4} = 228,27 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_y = 2,420$$

$$\chi_y = 0,148$$

$$\chi_z = 0,341$$

$$\chi_{LT} = 0,863$$

Interakční součinitele podle přílohy B

$$\psi_y = 0,0$$

$$C_{my} = 0,9$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \cdot \left(1 + (2,420 - 0,2) \cdot \frac{158,77}{\frac{0,148 \cdot 2772,55}{1,00}} \right) \leq 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{158,77}{\frac{0,148 \cdot 2772,55}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,673 \not\leq 1,179 \Rightarrow k_{yy} = 1,179$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,179 = 0,707$$

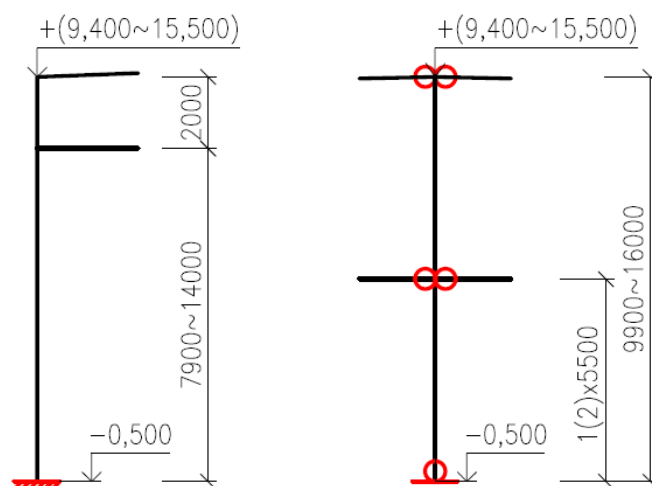
$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{158,77}{\frac{0,148 \cdot 2772,55}{1,00}} + 1,179 \cdot \frac{51,40}{\frac{0,863 \cdot 228,27}{1,00}} = \mathbf{0,70 \leq 1,00}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{158,77}{\frac{0,341 \cdot 2772,55}{1,00}} + 0,707 \cdot \frac{51,40}{\frac{0,863 \cdot 228,27}{1,00}} = \mathbf{0,35 \leq 1,00}$$

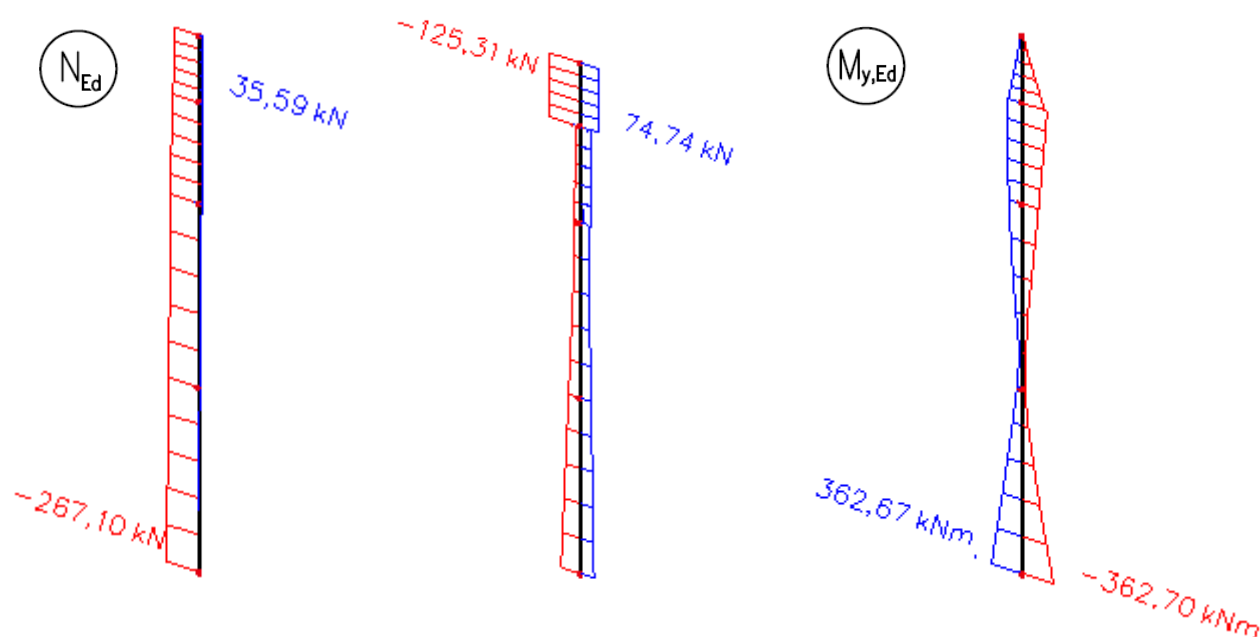
5.7 Sloupy [A;(2~16)] a [L (2~16)], konkrétně [A;9]

Statický model

- ve směru osy y kloubově uložený na obou koncích, kloubově připojené jeden nebo dva paždíky podle výšky sloupu
- ve směru osy z vetknutý na obou koncích



Obálka vnitřních sil



Vnitřní síly v kritickém průřezu K131:

$$N_{Ed} = -137,16 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -364,02 \text{ kNm}$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

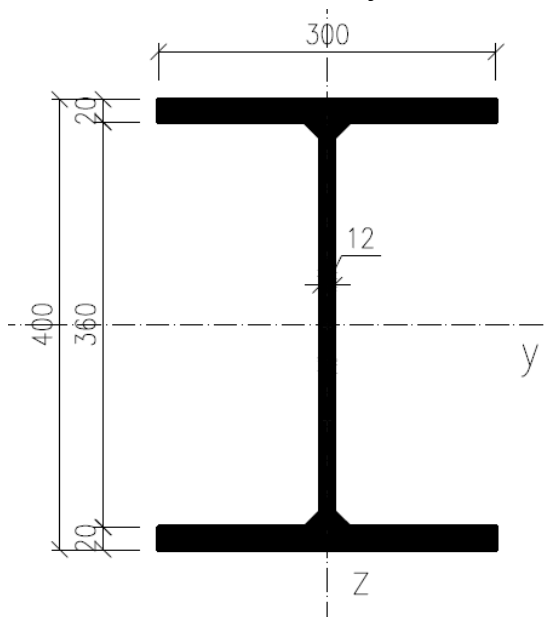
Geometrie:

$$L = 14,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 2,0 \cdot 14,000 = 28,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = L_{cr,\omega} = 5,500 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \lambda = L_{cr} \cdot \sqrt{\frac{A}{I}} = 2,818 \cdot \sqrt{\frac{8,850 \cdot 10^{-4}}{2,250 \cdot 10^{-7}}} = 176,73$$

Průřezové charakteristiky:

$$A = 1,661 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 4,892 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 9,008 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = 2,720 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 9,158 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I_t = 1,890 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$

$$I_\omega = 3,216 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$

$$i_y = 0,172 \text{ m}$$

$$i_z = 0,074 \text{ m}$$

$$i_0 = \sqrt{i_y^2 + i_z^2} = \sqrt{0,172^2 + 0,074^2} = 0,187 \text{ m}$$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\frac{c}{t} = \frac{358}{12} = 29,83 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{143}{20} = 7,15 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \Rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Posouzení:**Vzpěrná únosnost:**

Součinitel imperfekce:

Křivka vzpěrné pevnosti $\perp y$: $b \Rightarrow \alpha = 0,34$ $\perp z$: $c \Rightarrow \alpha = 0,49$

$$N_{cr,\omega} = \frac{1}{i_0^2} \left(G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_\omega}{L_{cr,\omega}^2} \right) = \frac{1}{0,187^2} \left(81 \cdot 1,890 + \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 3,216}{5,5^2} \right) = 1\,998,40 \text{ kN}$$

Křivka vzpěrné pevnosti $b \Rightarrow \alpha = 0,34$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 4,892 \cdot 10^{-4}}{28^2} = 1\,293,22 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,661 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3}{1\,293,22}} = 1,737$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,737 - 0,2) + 1,737^2] = 2,270$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,270 + \sqrt{2,270^2 - 1,737^2}} = 0,267$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,267 \cdot 1,661 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,00} = 1045,88 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{266,99}{1045,88} = \mathbf{0,255 \leq 1,0}$$

Křivka vzpěrné pevnosti $c \Rightarrow \alpha = 0,49$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 9,008 \cdot 10^{-5}}{5,5^2} = 6\,240,67 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,661 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^3}{6\,240,67}} = 0,791$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,791 - 0,2) + 0,791^2] = 0,958$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,958 + \sqrt{0,958^2 - 0,791^2}} = 0,668$$

Klopení:

$$\psi = \frac{23,85}{364,02} = 0,066$$

$$k_z = k_\omega = 1$$

$$k_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega} \cdot L_{\omega}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 5,5} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 3,216}{81 \cdot 1,890}} = 1,183$$

$$C_1 = (0,310 + 0,428 \cdot \psi + 0,262 \cdot \psi^2)^{-0,5} = (0,310 + 0,428 \cdot 0,066 + 0,262 \cdot 0,066^2)^{-0,5} = 1,72$$

$$z_g = z_j = 0 \Rightarrow \zeta_g = \zeta_j = 0$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + k_{\omega t}^2} = \frac{1,72}{1} \cdot \sqrt{1 + 1,183^2} = 2,664$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{\omega}} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 90,08 \cdot 81 \cdot 1,890}}{5,5} = 2\,588,87 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,720 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{2\,588,87}} = 0,497$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,497 - 0,2) + 0,497^2] = 0,696$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,696 + \sqrt{0,696^2 - 0,497^2}} = 0,845$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,845 \cdot 2,720 \cdot 235}{1,00} = 539,93 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{364,02}{539,93} = \mathbf{0,67 \leq 1,0}$$

Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^3 \cdot 1,661 \cdot 10^{-2} = 3903,35 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 10^3 \cdot 2,720 \cdot 10^{-3} = 639,2 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,737$$

$$\chi_y = 0,267$$

$$\chi_z = 0,668$$

$$\chi_{LT} = 0,845$$

Interakční součinitele podle přílohy B

$$\psi_y = 0,0$$

$$C_{my} = 0,9$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \cdot \left(1 + (2,420 - 0,2) \cdot \frac{137,16}{\frac{0,267 \cdot 3903,35}{1,00}} \right) \leq 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{137,16}{\frac{0,267 \cdot 3903,35}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,162 \not\leq 0,995 \Rightarrow k_{yy} = 0,995$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,995 = 0,597$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{\frac{137,16}{0,267 \cdot 3903,35}}{1,00} + 0,995 \cdot \frac{\frac{364,02}{0,845 \cdot 639,2}}{1,00} = \mathbf{0,80 \leq 1,00}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{\frac{137,16}{0,341 \cdot 3903,35}}{1,00} + 0,597 \cdot \frac{\frac{364,02}{0,845 \cdot 639,2}}{1,00} = \mathbf{0,50 \leq 1,00}$$

6 Posouzení na mezní stav použitelnosti

6.1 Sloup [F;2']

Extrémní průhyb určen v programu SCIA Engineer

$$\delta(+) = 33,7 \text{ mm}$$

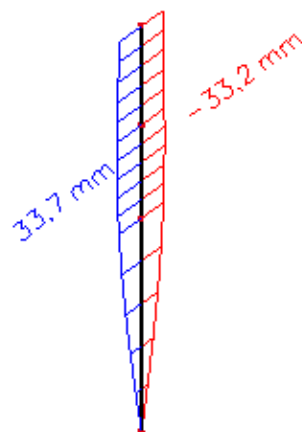
$$\delta_{max} = \frac{L}{300} = \frac{10809}{300} = 36,0 \text{ mm}$$

$$\mathbf{33,7 \text{ mm} \leq 36,0 \text{ mm}}$$

$$\delta(-) = 33,2 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = \frac{L}{300} = \frac{10809}{300} = 36,0 \text{ mm}$$

$$\mathbf{33,2 \text{ mm} \leq 36,0 \text{ mm}}$$



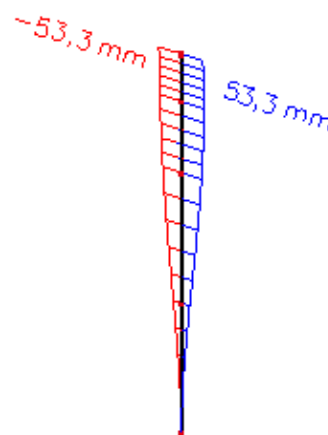
6.2 Sloup [A;9]

Extrémní průhyb určen v programu SCIA Engineer

$$\delta(\pm) = 53,3 \text{ mm}$$

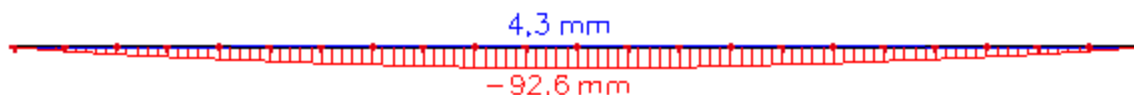
$$\delta_{max} = \frac{L}{300} = \frac{16000}{300} = 53,3 \text{ mm}$$

$$\mathbf{53,3 \text{ mm} \leq 53,3 \text{ mm}}$$



6.3 Dolní pás vazníku [9]

Extrémní průhyb určen v programu SCIA Engineer



$$\delta(-) = 92,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{55000}{250} = 220,0 \text{ mm}$$

$$92,6 \text{ mm} \leq 220,0 \text{ mm}$$

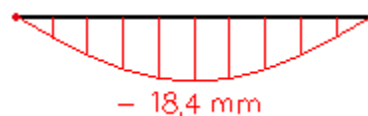
6.4 Paždík

Extrémní průhyb určen v programu SCIA Engineer

$$\delta(-) = 18,4 \text{ mm}$$

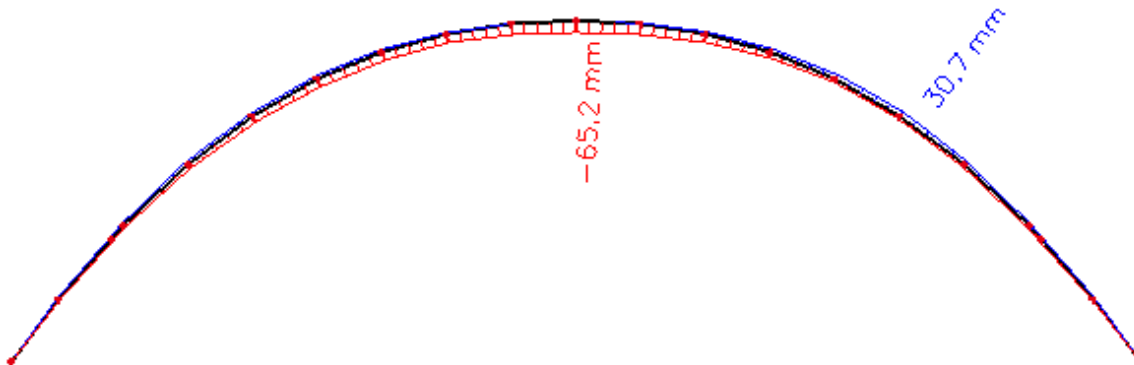
$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{5500}{250} = 22,0 \text{ mm}$$

$$18,4 \text{ mm} \leq 22,0 \text{ mm}$$



6.5 Oblouk

Extrémní průhyb určen v programu SCIA Engineer



$$\delta(+) = 30,7 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{96000}{250} = 384,0 \text{ mm}$$

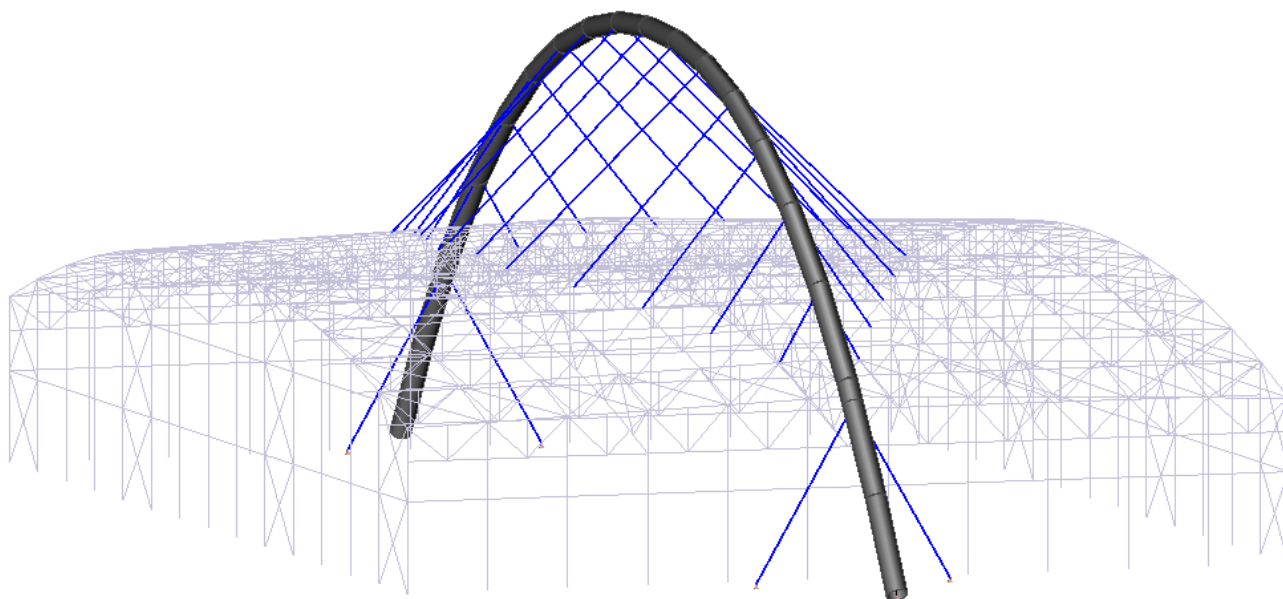
$$30,7 \text{ mm} \leq 384,0 \text{ mm}$$

$$\delta(-) = 65,2 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{96000}{250} = 384,0 \text{ mm}$$

$$65,2 \text{ mm} \leq 220,0 \text{ mm}$$

7 Návrh předpětí



Předpínací lana – otevřená jednopramenná vinutá lana Tensoteci

$$f_{p,k} = 1\,770 \text{ MPa}$$

$$f_{p01,k} = 1\,520 \text{ MPa}$$

$$f_{p,d} = \frac{f_{p01,k}}{\gamma_s} = \frac{1520}{1,15} = 1322 \text{ MPa}$$

$$d = 32 \text{ mm}$$

$$A_p = 804 \text{ mm}^2$$

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

Maximální napětí při napínání

$$\sigma_{p,max} = \min \{0,8 \cdot f_{p,k}; 0,9 \cdot f_{p01,k}\} = \min \{0,8 \cdot f_{p,k}; 0,9 \cdot f_{p01,k}\} = 1\,368 \text{ MPa}$$

$$P_{max} = \sigma_{p,max} \cdot A_p = 1368 \cdot 0,804 = 1100 \text{ kN}$$

Maximální napětí v čase t_∞

$$\sigma_{p,m,\infty} = 0,8 \cdot \sigma_{p,max} = 0,8 \cdot 1368 = 1094 \text{ MPa}$$

$$P_{m,\infty} = \sigma_{p,max} \cdot A_p = 1094 \cdot 0,880 = 880 \text{ kN}$$

Maximální napětí v laně za provozu

$$f_{p,max} = 1770 \cdot 0,45 = 796 \text{ MPa}$$

$$F_{p,max} = f_{p,max} \cdot A_p = 796 \cdot 0,804 = 640 \text{ kN}$$

Minimální napětí v laně za provozu

$$f_{p,min} = 1770 \cdot 0,1 = 177 \text{ MPa}$$

$$F_{p,min} = f_{p,max} \cdot A_p = 177 \cdot 0,804 = 142 \text{ kN}$$

Navržená předpětí

Pozn.: označení lan dle modulových úsečků

Lano č.	F_p [kN]	N_{max} K52 [kN]	N_{min} K64 [kN]	$F_p + N_{max}$ [kN]	$F_p + N_{min}$ [kN]
3; 15	289	336	-111	625	178
4; 14	279	346	-54	625	224
5; 13	287	338	-62	625	225
6; 12	277	348	-5	625	272
7; 11	298	316	30	614	328
8; 10	337	288	-5	625	332
9	347	278	-14	625	333

 F_p předpínací síla v laně N_{max} maximální normálová síla od zatížení N_{min} minimální normálová síla od zatížení

$$F_p + N_{max} \leq F_{p,max} = 640 \text{ kN}$$

$$F_p + N_{min} \geq F_{p,min} = 142 \text{ kN}$$

Největší normálová síla v lanech po uvedení do provozu

$$P_{Ed} \cong \frac{625}{0,8} = 781 \text{ kN}$$

Délky lan pro předběžné předepnutí – výstup ze SCIA Engineer – analýza lana

Lano č.	N_{K2} [kN]	L_{K2} [mm]	L [mm]
3; 15	220,89	5007	3713
4; 14	251,60	8739	7410
5; 13	163,09	11953	10591
6; 12	246,09	14735	13333
7; 11	291,84	17134	15679
8; 10	311,91	17535	16099
9	318,83	17620	16187

 N_{K2} normálová síla v laně pro montážní stav K2 L_{K2} odpovídající délka lana při daném napětí L osová vzdálenost čepů po osazení koncovek lana

8 Kotvení

8.1 Patka pod sloupy 7-9

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Beton C16/20

$$f_{ck} = 16,00 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 10,67 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 27,50 \text{ GPa}$$

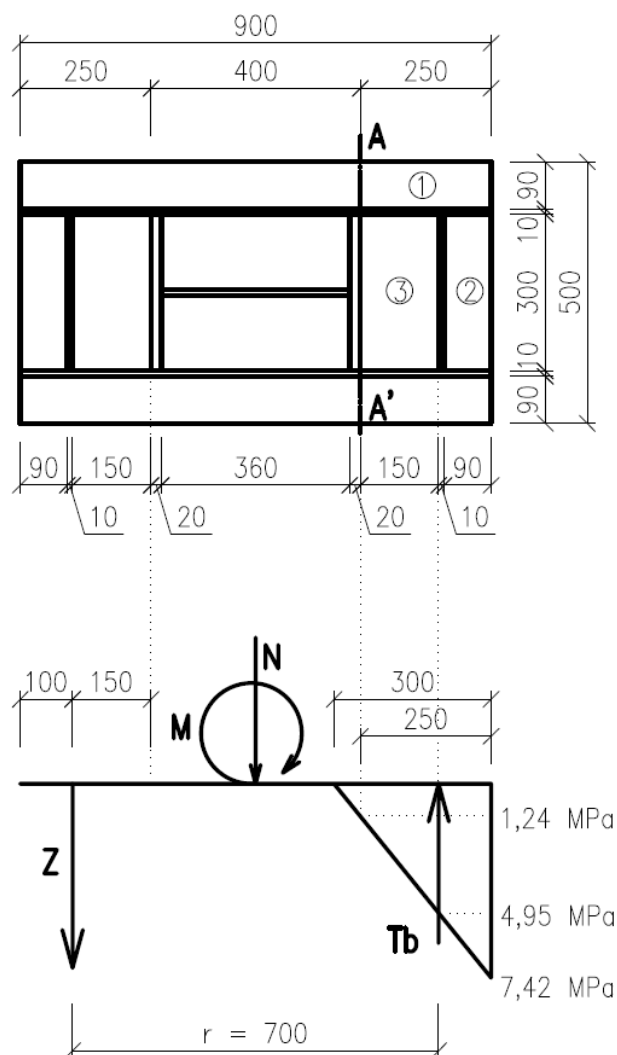
Geometrie:

Délka patky $d = 900 \text{ mm}$

Šířka patky $b = 500 \text{ mm}$

Kotevní šrouby od okraje patky $a = 100 \text{ mm}$

Schéma:



Patky 7-9	Kombinace		
Vnitřní síly	K67	K53	K93
M_{Ed} [kNm]	362,34	91,27	341,04
N_{Ed} [kN]	-32,52	266,99	137,74
V_{Ed} [kN]	77,58	18,57	59,03
c [m]	-11,14	0,34	2,48
c/d	-12,380	0,380	2,751
ξ	0,333	0,430	0,333
x [m]	0,300	0,387	0,300
r [m]	0,700	0,671	0,700
T_b [kN]	501,30	275,29	555,99
$\sigma_{cc,max}$ [MPa]	6,69	2,85	7,42
Z [kN]	533,82	8,30	418,25
$F_{t,Ed}$ [kN]	320,29	4,98	250,95

Postup návrhu:

Excentricita c :

$$c = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

Stanovení x (viz obr. 151, strana 167 v [7]):

$$x = \xi \cdot d; \xi \text{ se stanoví z poměru } \frac{c}{d}$$

Rameno vnitřních sil r :

$$r = \left(d - a - \frac{x}{3} \right)$$

Výslednice tlakového napětí v betonu:

$$T_b = \frac{N \cdot \left(c + \frac{d}{2} - a \right)}{r}$$

Maximální tlakové napětí v betonu:

$$\sigma_{cc,max} = \frac{T_b \cdot 2}{x \cdot b}$$

Síla v tažených šroubech:

$$Z = T_b - N$$

Návrhová tahová síla na jeden šroub:

$$F_{t,Ed} = \frac{Z}{2} \cdot 1,2$$

Kotevní šrouby

Maximální tahová síla na jeden šroub z kombinace K 67:

$$F_{t,Ed} = 320,30 \text{ kN}$$

Návrh 2 M48x3, S 355 (dle tab. 44, strana 168 v [7]):

$$F_{Rd} = 359,20 \text{ kN}$$

$$A_s = 1604 \text{ mm}^2$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{Rd}} = \frac{320,30}{359,20} = \mathbf{0,89 \leq 1,00}$$

Přetržení dřívku šroubu:

$$F_{t,Rd} = \frac{f_y \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{355 \cdot 1,604}{1,25} = 455,54 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{320,30}{455,54} = \mathbf{0,70 \leq 1,00}$$

Tlačený beton

Maximální tlakové napětí v betonu z kombinace K 93:

$$\sigma_{cc,max} = 7,42 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{cc,max}}{f_{cd}} = \frac{7,42}{10,67} = \mathbf{0,70 \leq 1,00}$$

Tloušťka patního plechu

Oblast 1 (Konzola)

$$\sigma_{cc,max} = 7,42 \text{ MPa}$$

$$e = 90 \text{ mm}$$

$$t_{p,1,min} = 1,73 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{cc,max}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}} = 1,73 \cdot 90 \cdot \sqrt{\frac{7,42}{\frac{355}{1,0}}} = 22,51 \text{ mm}$$

Oblast 2 (Deska podepřená po třech stranách)

$$\sigma_{cc,max} = 7,42 \text{ MPa}$$

$$a = 300 \text{ mm}$$

$$b = 90 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{a} = \frac{90}{300} = 0,3 \leq 0,5 \Rightarrow \text{působí jako konzola}$$

$$t_{p,2,min} = 1,73 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{cc,max}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}} = 1,73 \cdot 90 \cdot \sqrt{\frac{7,42}{\frac{355}{1,0}}} = 22,51 \text{ mm}$$

Oblast 3 (Deska podepřená po obvodě)

$$\sigma_{cc,max}' = 4,95 \text{ MPa}$$

$$a = 150 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{a} = \frac{300}{150} = 2 \Rightarrow \alpha = 0,774 \text{ (dle tab. 45, strana 170, [4])}$$

$$t_{p,3,min} = \alpha \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{cc,max}'}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}} = 0,774 \cdot 300 \cdot \sqrt{\frac{4,95}{\frac{355}{1,0}}} = 27,42 \text{ mm}$$

Výsledná tloušťka patního plechu

$$t_{min} = \max\{t_{p,1,min}; t_{p,2,min}; t_{p,3,min}\} = \max\{22,51; 22,51; 27,42\} = 27,42 \text{ mm}$$

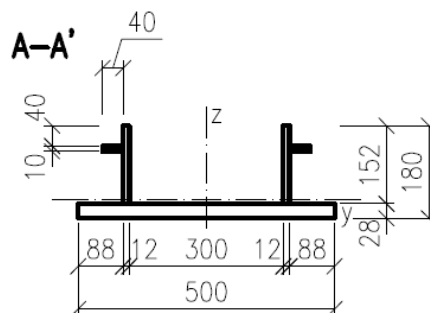
$$\mathbf{t = 28 \text{ mm} \geq t_{min} = 27,42 \text{ mm}}$$

Průřez patky:**Charakteristiky řezu A-A'**

$$A = 1,845 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_v = 4,136 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = 2,757 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

**Posouzení v řezu A-A'**

Vnitřní síly od tlaku betonu:

$$V_c = \frac{7420 + 1237}{2} \cdot 0,250 \cdot 0,5 = 541,06 \text{ kN}$$

$$M_c = V_c \cdot 0,155 = 541,06 \cdot 0,155 = 83,86 \text{ kNm}$$

Vnitřní síly od tahu šroubů:

$$V_Z = Z = 533,82 \text{ kN}$$

$$M_Z = Z \cdot 0,150 = 533,82 \cdot 0,150 = 80,07 \text{ kNm}$$

Návrhové vnitřní síly:

$$V_{Ed} = V_c = 541,06 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M_c = 83,86 \text{ kNm}$$

Posouzení na smyk:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{4,136 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 847,71 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed,B}}{V_{pl,Rd}} = \frac{541,06}{847,71} = 0,64 \leq 1,00$$

Kombinace ohybu a smyku:

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed,B}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 541,06}{847,71} - 1 \right)^2 = 0,076$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y \cdot (1 - \rho)}{\gamma_{M0}} = \frac{0,2757 \cdot 355 \cdot (1 - 0,076)}{1,0} = 90,39 \text{ kNm}$$

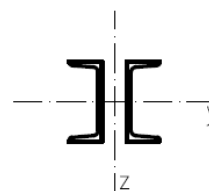
$$\frac{M_{Ed,B}}{M_{el,Rd}} = \frac{83,86}{90,39} = 0,93 \leq 1,00$$

Kotevní příčník**Průřezové charakteristiky 2xU160**

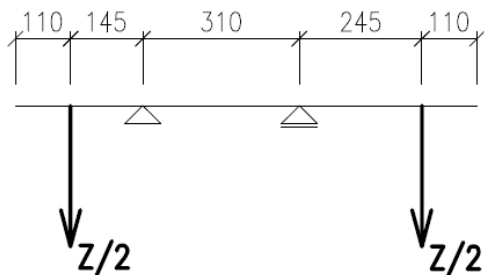
$$A = 4,873 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_v = 2,402 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$W_{el,y} = 2,354 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$



Statické schéma s uvážením možné excentricity 50 mm:



$$Z = 533,82 \text{ kN}; Z/2 = 266,91 \text{ kN}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = 266,91 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 266,91 \cdot 0,245 = 65,13 \text{ kNm}$$

Posouzení na smyk:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,402 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 492,31 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{266,91}{492,31} = \mathbf{0,54 \leq 1,00}$$

Kombinace ohybu a smyku:

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 266,91}{492,31} - 1 \right)^2 = 0,007$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y \cdot (1 - \rho)}{\gamma_{M0}} = \frac{0,2354 \cdot 355 \cdot (1 - 0,007)}{1,0} = 82,97 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} = \frac{65,13}{82,97} = \mathbf{0,78 \leq 1,00}$$

Kotevní zarážka

$$V_{Ed} = 77,58 \text{ kN}$$

$$f_j = \frac{0,67 \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,67 \cdot 1,2 \cdot 16}{1,5} = 8,58 \text{ MPa}$$

Návrh profilu HEB 100

Potřebná hloubka zabetonování z hlediska otláčení betonu:

$$h_{min} = \frac{V_{Ed}}{l \cdot f_j} = \frac{77,58}{0,1 \cdot 8,58} = 90,42 \text{ mm} \Rightarrow h_{min} = 100 \text{ mm}$$

Celková hloubka včetně podlití

$$h = h_{min} + 50 = 100 + 50 = \mathbf{150 \text{ mm}}$$

Posouzení zarážky na smyk:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,6573 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 134,72 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{77,58}{134,72} = \mathbf{0,58 \leq 1,00}$$

Kombinace ohybu a smyku:

$$M_{Ed} = 0,15 \cdot V_{Ed} = 0,14 \cdot 77,58 = 11,64 \text{ kNm}$$

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 77,58}{134,72} - 1 \right)^2 = 0,023$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y \cdot (1 - \rho)}{\gamma_{M0}} = \frac{0,08991 \cdot 355 \cdot (1 - 0,023)}{1,0} = 31,18 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} = \frac{11,64}{31,18} = \mathbf{0,37 \leq 1,00}$$

8.2 Patka pod sloupy 2B,D; 14B,D

Materiálové charakteristiky:

Ocel S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Beton C16/20

$$f_{ck} = 16,00 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 10,67 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 27,50 \text{ GPa}$$

Geometrie:

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$a = b = 250 \text{ mm}$$

$$a_r = b_r = 250 \text{ mm}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

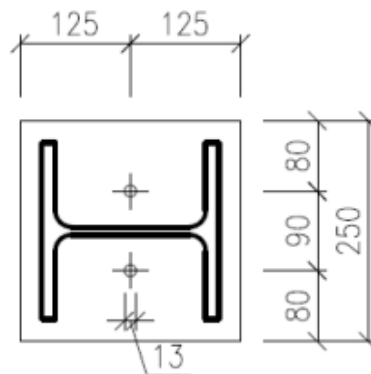
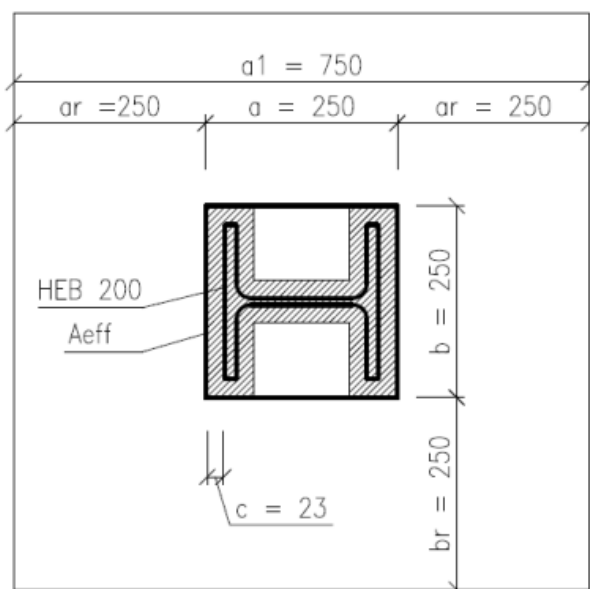
$$a_1 = b_1 = \min \left\{ \begin{array}{c} a + 2 \cdot a_r \\ 5 \cdot a \\ a + h \\ 5 \cdot b_1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} 250 + 2 \cdot 250 \\ 5 \cdot 250 \\ 250 + 1000 \\ 5 \cdot 1400 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} 750 \\ 1250 \\ 1250 \\ 3750 \end{array} \right\} = 750 \text{ mm}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{750 \cdot 750}{250 \cdot 250}} = 3$$

$$f_j = \frac{0,67 \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,67 \cdot 3,0 \cdot 16}{1,5} = 21,44 \text{ MPa}$$

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 21,44 \cdot 1,0}} = 23 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 3,68 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$



Patka 7-9	Kombinace		
Vnitřní síly	K81	K98	K122
N_{Ed} [kN]	158,87	-2,43	-12,69
V_{ed} [kN]	11,03	37,77	36,59

Tlačený beton:

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_j = 3,68 \cdot 10^{-2} \cdot 21440 = 789,68 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{158,87}{789,68} = 0,20 \leq 1,00$$

Nadzdvížení patky:

$$N_{Rd} = a_1 \cdot b_1 \cdot h \cdot \gamma_{zb} = 0,75 \cdot 0,75 \cdot 1,0 \cdot 24 = 13,50 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{12,69}{13,50} = 0,94 \leq 1,00$$

Kotevní šrouby:

$$F_{t,Ed} = 12,69 \text{ kN}$$

Chemické kotvení se 2 šrouby M12 5.8

$$F_{t,1,Ed} = \frac{F_{t,Ed}}{2} = \frac{12,69}{2} = 6,35 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho šroubu v soudržnosti z tabulek výrobce:

$$F_{c,1,Rd} = 6,80 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{c,1,Rd}} = \frac{6,35}{6,80} = \mathbf{0,93 \leq 1,00}$$

Únosnost jednoho šroubu v tahu:

$$F_{t,1,Rd} = \frac{0,8 \cdot A_s \cdot f_{yb}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,8 \cdot 0,0843 \cdot 400}{1,25} = 21,58 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{t,1,Rd}} = \frac{6,35}{21,58} = \mathbf{0,29 \leq 1,00}$$

Kotevní zarážka

Návrh profilu HEB 100

Potřebná hloubka zabetonování z hlediska otláčení betonu:

$$h_{min} = \frac{V_{Ed}}{l \cdot f_j} = \frac{37,77}{0,1 \cdot 8,58} = 54,02 \text{ mm} \Rightarrow h_{min} = 60 \text{ mm}$$

Celková výška zarážky včetně podlití

$$h = h_{min} + 30 = 60 + 30 = \mathbf{90 \text{ mm}}$$

Posouzení zarážky na smyk:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,6573 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 134,72 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{37,77}{134,72} = \mathbf{0,28 \leq 1,00}$$

ohybu

$$M_{Ed} = 0,09 \cdot V_{Ed} = 0,09 \cdot 37,77 = 3,40 \text{ kNm}$$

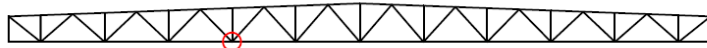
$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,08991 \cdot 355}{1,0} = 31,28 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} = \frac{3,40}{31,28} = \mathbf{0,34 \leq 1,00}$$

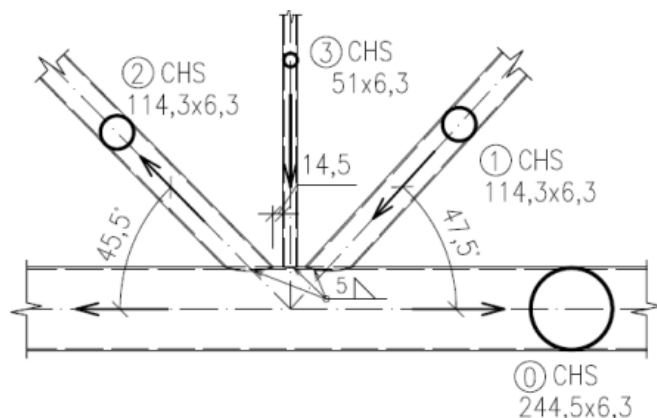
9 Posouzení vybraných styčníků

9.1 Styčník mezipásových prutů a dolního pásu (typ KT)

Poloha na vazníku:



Detail styčníku (síly pro kritickou kombinaci K 52):



Prut č.	0	1	2	3
d_i [mm]	244,5	114,3	114,3	51
t_i [mm]	6,3	6,3	6,3	6,3
θ_i [°]	-	47,5	45,5	90,0
$N_{i,Ed}$ [kN]	210,36	212,67	259,19	46,59

Porušení povrchu pásu:

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{244,5}{2 \cdot 6,3} = 19,405$$

$$g = 14,5 \text{ mm}$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + e^{(0,5 \cdot \frac{g}{t_0} - 1,33)}} \right) = 19,405^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 19,405^{1,2}}{1 + e^{(0,5 \cdot \frac{14,5}{6,3} - 1,33)}} \right) = 2,640$$

$$k_p = 1,0 \text{ (} n_p \leq 0 \text{ (tah))}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot d_0} \right) / \gamma_{M5}$$

$$= \frac{2,640 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 6,3^2}{\sin 47,5} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{114,3 + 114,3 + 51}{3 \cdot 244,5} \right) / 1,0$$

$$N_{1,Rd} = 286,98 \text{ kN}$$

Návrhová kritéria:

$$N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \cdot \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$212,67 \cdot \sin 47,5 + 46,59 \cdot \sin 90 \leq 286,98 \cdot \sin 47,5$$

$$203,39 \text{ kN} \leq 211,58 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} \cdot \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$259,19 \cdot \sin 45,5 \leq 286,98 \cdot \sin 47,5$$

$$184,87 \text{ kN} \leq 211,58 \text{ kN}$$

Porušení prolomením smykem

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \cdot \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5} = \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 6,3 \cdot \pi \cdot 114,3 \cdot \frac{1 + \sin 47,5}{2 \cdot \sin^2 47,5} / 1,0 = 740,94 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \frac{1 + \sin \theta_2}{2 \cdot \sin^2 \theta_2} / \gamma_{M5} = \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 6,3 \cdot \pi \cdot 114,3 \cdot \frac{1 + \sin 45,5}{2 \cdot \sin^2 45,5} / 1,0 = 780,75 \text{ kN}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_3 \cdot \frac{1 + \sin \theta_3}{2 \cdot \sin^2 \theta_3} / \gamma_{M5} = \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 6,3 \cdot \pi \cdot 51,0 \cdot \frac{1 + \sin 90,0}{2 \cdot \sin^2 90,0} / 1,0 = 206,88 \text{ kN}$$

Návrhová kritéria:

$$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$$

$$212,67 \text{ kN} \leq 740,94 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} \leq N_{2,Rd}$$

$$259,19 \text{ kN} \leq 780,75 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed} \leq N_{3,Rd}$$

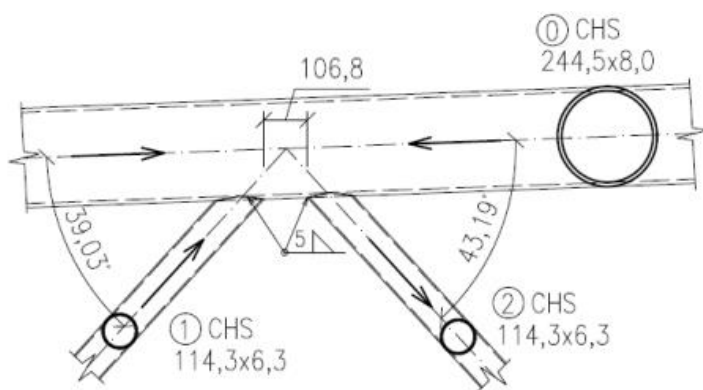
$$46,59 \text{ kN} \leq 206,88 \text{ kN}$$

9.2 Styčník mezipásových prutů a horního pásu (typ K)

Poloha na vazníku:



Detail styčníku (síly pro kritickou kombinaci K 55):



Prut č.	0	1	2
d_i [mm]	244,5	114,3	114,3
t_i [mm]	8	6,3	6,3
θ_i [°]	-	39,03	43,19
$N_{i,Ed}$ [kN]	388,98	214,27	133,39

Porušení povrchu pásu:

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{244,5}{2 \cdot 8} = 15,281$$

$$g = 106,8 \text{ mm}$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + e^{\left(0,5 \cdot \frac{g}{t_0} - 1,33\right)}} \right) = 15,281^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 15,281^{1,2}}{1 + e^{\left(0,5 \cdot \frac{106,8}{8} - 1,33\right)}} \right) = 1,730$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{310,46 \cdot 10^3}{5,94 \cdot 10^{-3}} + \frac{2,67 \cdot 10^3}{3,40 \cdot 10^{-4}} = 60,12 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}} / \gamma_{M5} = \frac{60,12}{355} / 1,0 = 0,169$$

$$\begin{aligned} k_p &= 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,169 \cdot (1 + 0,169) = 0,941 N_{1,Rd} \\ &= \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1}{d_0}\right) / \gamma_{M5} \\ &= \frac{1,730 \cdot 0,941 \cdot 355 \cdot 0,008^2}{\sin 45,4} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{114,3}{244,5}\right) / 1,0 \end{aligned}$$

$$N_{1,Rd} = 242,94 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \cdot N_{1,Rd} = \frac{\sin 39,03}{\sin 43,19} \cdot 242,94 = 223,53 \text{ kN}$$

Návrhová kritéria:

$$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$$

$$214,27 \text{ kN} \leq 242,94 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} \leq N_{2,Rd}$$

$$133,39 \text{ kN} \leq 223,53 \text{ kN}$$

Porušení prolomením smykem

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \cdot \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5} = \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 6,3 \cdot \pi \cdot 114,3 \cdot \frac{1 + \sin 39,03}{2 \cdot \sin^2 39,03} / 1,0 = 952,76 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \frac{1 + \sin \theta_2}{2 \cdot \sin^2 \theta_2} / \gamma_{M5} = \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 6,3 \cdot \pi \cdot 114,3 \cdot \frac{1 + \sin 43,19}{2 \cdot \sin^2 43,19} / 1,0 = 833,64 \text{ kN}$$

Návrhová kritéria:

$$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$$

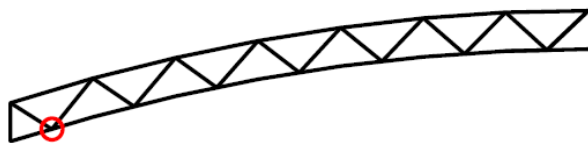
$$214,27 \text{ kN} \leq 952,76 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} \leq N_{2,Rd}$$

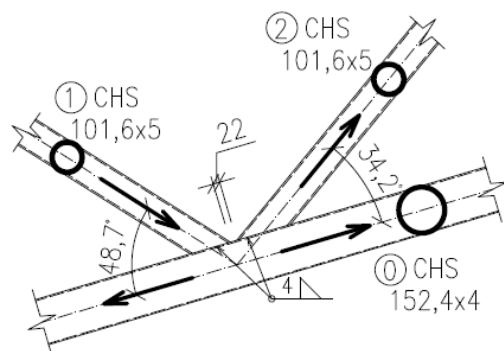
$$133,39 \text{ kN} \leq 833,64 \text{ kN}$$

9.3 Styčník mezipásových prutů podélného ztužidla

Poloha na ztužidle:



Detail styčníku (síly pro kritickou kombinaci K 52):



Prut č.	0	1	2
d_i [mm]	152,4	101,6	101,6
t_i [mm]	4	5	5
θ_i [°]	-	48,7	34,2
$N_{i,Ed}$ [kN]	12,19	139,26	179,16

Porušení povrchu pásu:

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{152,4}{2 \cdot 4} = 19,05$$

$$g = 22 \text{ mm}$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + e^{(0,5 \cdot \frac{g}{t_0} - 1,33)}} \right) = 19,05^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 19,05^{1,2}}{1 + e^{(0,5 \cdot \frac{22}{4} - 1,33)}} \right) = 2,292$$

$$k_p = 1,0 \quad (n_p \leq 0 \text{ (tah)})$$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5} = \frac{2,292 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 0,004^2}{\sin 48,7} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{101,6}{152,4} \right) / 1,0$$

$$N_{1,Rd} = 149,03 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \cdot N_{1,Rd} = \frac{\sin 48,7}{\sin 34,2} \cdot 149,03 = 199,19 \text{ kN}$$

Návrhová kritéria:

$$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$$

$$139,26 \text{ kN} \leq 149,03 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} \leq N_{2,Rd}$$

$$179,16 \text{ kN} \leq 199,19 \text{ kN}$$

Porušení prolomením smykem

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \cdot \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5} = \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 4,0 \cdot \pi \cdot 101,6 \cdot \frac{1 + \sin 48,7}{2 \cdot \sin^2 48,7} / 1,0 = 517,29 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \frac{1 + \sin \theta_2}{2 \cdot \sin^2 \theta_2} / \gamma_{M5} = \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 4,0 \cdot \pi \cdot 101,6 \cdot \frac{1 + \sin 34,2}{2 \cdot \sin^2 34,2} / 1,0 = 646,91 \text{ kN}$$

Návrhová kritéria:

$$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$$

$$139,26 \text{ kN} \leq 517,29 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} \leq N_{2,Rd}$$

$$179,16 \text{ kN} \leq 646,91 \text{ kN}$$

9.4 Styčník horního pásu a předepnutých závěsů**Posouzení čepu k předpětí 6.8, 2 roviny střihu**

$$d = 55 \text{ mm}$$

$$F_{V,Ed} = 800 \text{ kN}$$

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{0,800 \cdot 1,00}{335}} = 34,25 \text{ mm} \Rightarrow t = 40 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{0,800 \cdot 1,00}{2 \cdot 0,04 \cdot 335} + \frac{2 \cdot 0,057}{3} = 66 \text{ mm} \Rightarrow a = 70 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{0,80 \cdot 1,00}{2 \cdot 0,04 \cdot 335} + \frac{0,057}{3} = 48 \text{ mm} \Rightarrow c = 50 \text{ mm}$$

$$F_{V,Rd} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot f_{up}}{4 \cdot \gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot \pi \cdot 0,055^2 \cdot 600}{4 \cdot 1,25} = 1\,368 \text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} = 1\,223 \text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 800 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 40 \cdot 0,055 \cdot 335}{1,00} = 1\,106 \text{ kN}$$

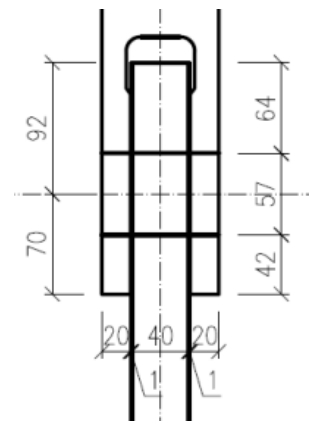
$$F_{b,Rd} = 1\,106 \text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 800 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{V,Ed}}{8} \cdot (t + 4 \cdot t_0 + 2 \cdot t_1) = \frac{800}{8} \cdot (40 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 20) = 8,71 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 0,015992 \cdot 480}{1,00} = 11,51 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 9,73 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 8,711 \text{ kNm}$$

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$



$$\left[\frac{8,71}{11,51}\right]^2 + \left[\frac{800}{1368}\right]^2 \leq 1,0$$

$$0,94 \leq 1,0$$

Posouzení svaru:

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 20 = 22 \text{ mm} \Rightarrow a = 5 \text{ mm}$$

$$F_{\perp} = \frac{F_{Ed}}{2} \cdot \sin \alpha = 400 \cdot \sin 49,1 = 302,34 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = \frac{F_{Ed}}{2} \cdot \cos \alpha = 400 \cdot \cos 49,1 = 261,90 \text{ kN}$$

$$L = 500 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 500 \cdot 5 = 2500 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{\perp}}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{302,34}{2,500 \cdot \sqrt{2}} = 85,51 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{A} = \frac{261,90}{2,500} = 104,76 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{85,51^2 + 3 \cdot (85,51^2 + 104,76^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$249,34 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa}$$

Posouzení povrchu pásu:**Geometrie:**

$$d_0 = 244,5 \text{ mm}$$

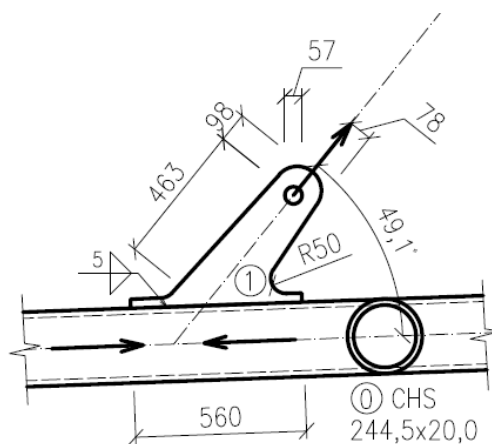
$$t_0 = 20 \text{ mm}$$

$$h_1 = 500 \text{ mm}$$

$$t_1 = 40 \text{ mm}$$

Podmínky platnosti:

$$\eta \leq \frac{h_1}{d_0} = \frac{500}{244,5} = 2,045 \leq 4,0$$

**Porušení povrchu pásu – osová síla:**

$$n_p = \frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}} / \gamma_{M5} = \frac{32,78}{355} / 1,0 = 0,092$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,092 \cdot (1 + 0,092) = 0,97$$

$$N_{1,Rd} = \frac{5 \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot \eta)}{\gamma_{M5}} = \frac{5 \cdot 0,97 \cdot 355 \cdot 0,02^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot 2,045)}{1,0} = 1\,041 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd} = 1\,041\text{ kN} \geq N_{1,Ed} = 800\text{ kN}$$

Porušení prolomením smykem

$$\sigma_{max} \cdot t_1 = \frac{N_{Ed}}{A} \cdot t_1 \leq 2 \cdot t_0 \cdot \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} / \gamma_{M5}$$

$$\frac{0,800}{0,04 \cdot 0,2} \cdot 0,04 \leq 2 \cdot 0,02 \cdot \frac{355}{\sqrt{3}} / 1,0$$

$$4\,000\text{ kN} \leq 8\,198\text{ kN}$$

9.5 Čep kotevních lan

Posouzení čepu k předpětí 6.8, 2 roviny stříhu

$$d = 75\text{ mm}$$

$$F_{V,Ed} = 1602\text{ kN}$$

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{1,602 \cdot 1,00}{335}} = 48,40\text{ mm} \Rightarrow t = 50\text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{1,602 \cdot 1,00}{2 \cdot 0,05 \cdot 335} + \frac{2 \cdot 0,077}{3} = 99\text{ mm} \Rightarrow a = 100\text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{1,602 \cdot 1,00}{2 \cdot 0,05 \cdot 335} + \frac{0,077}{3} = 73\text{ mm} \Rightarrow c = 80\text{ mm}$$

$$F_{V,Rd} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot f_{up}}{4 \cdot \gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot \pi \cdot 0,075^2 \cdot 600}{4 \cdot 1,25} = 2\,545\text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} = 2\,217\text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 1602\text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 50 \cdot 0,075 \cdot 335}{1,00} = 1\,884\text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 1\,884\text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 1602\text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{V,Ed}}{8} \cdot (t + 4 \cdot t_0 + 2 \cdot t_1) = \frac{1602}{8} \cdot (50 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 25) = 20,426\text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 0,04055 \cdot 480}{1,00} = 29,20\text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 23,74\text{ kNm} \geq M_{Ed} = 20,426\text{ kNm}$$

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$\left[\frac{20,426}{29,20} \right]^2 + \left[\frac{1602}{2545} \right]^2 \leq 1,0$$

$$0,86 \leq 1,0$$

9.6 Připoj horního pásu vazníku na sloup

Vnitřní síly pro posouzení svaru a šroubu kombinace 53:

$$F_{t,Ed} = 47,26 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 210,78 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 28,70 \text{ kN}$$

Výpočet tahové síly od momentu na 2 šrouby:

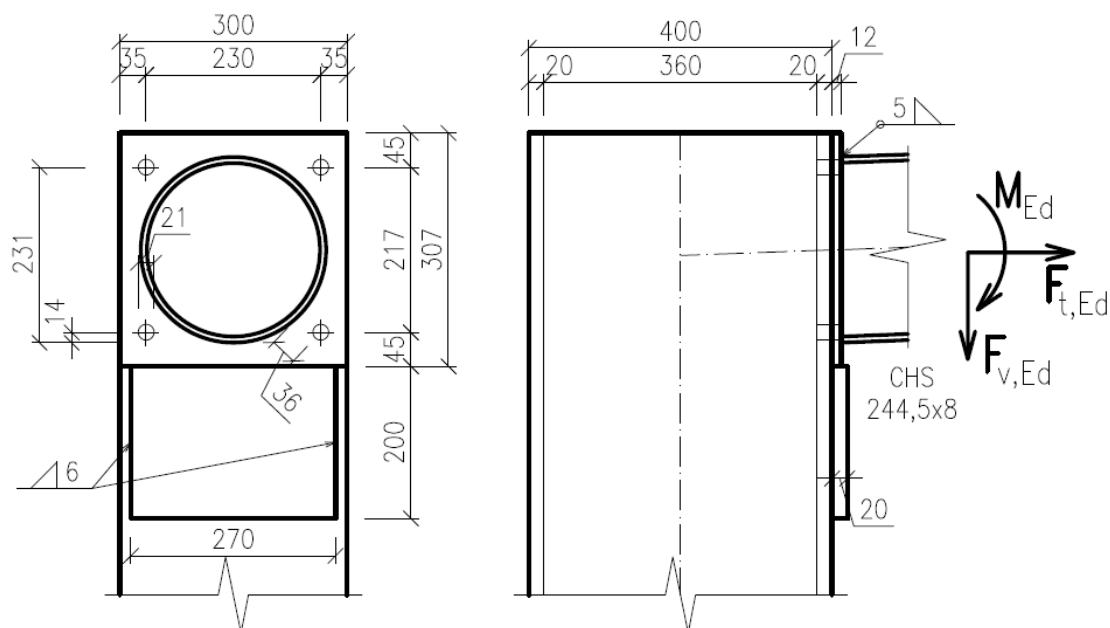
$$F_{t,M} = \frac{M_{Ed} \cdot r_1}{r_1^2 + r_2^2} = \frac{28700 \cdot 231}{231^2 + 14^2} = 123,78 \text{ kN}$$

Tahová síla na 1 šroub:

$$F_{t,Ed,1} = \frac{F_{t,Ed}}{4} + \frac{F_{t,M}}{2} = \frac{47,26}{4} + \frac{123,78}{2} = 73,67 \text{ kN}$$

Smyková síla na 1 šroub:

$$F_{v,Ed,1} = \frac{F_{v,Ed}}{4} = \frac{210,78}{4} = 52,70 \text{ kN}$$



Materiálové charakteristiky:

Připojovaný materiál S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Šrouby 4 x M20 10.9

$$f_{ub} = 1000 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 900 \text{ MPa}$$

Geometrie:*Šrouby:*

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$d_0 = 21 \text{ mm}$$

$$d_m = 32,3 \text{ mm}$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

Styčnickový plech:

$$t = 12 \text{ mm}$$

$$e_1 \geq 2,0 \cdot d_0 = 2,0 \cdot 21 = 42,0 \text{ mm} \Rightarrow e_1 = 45 \text{ mm}$$

$$p_1 \geq 3,5 \cdot d_0 = 3,5 \cdot 21 = 73,5 \text{ mm} \Rightarrow p_1 = 217 \text{ mm}$$

$$e_2 \geq 1,5 \cdot d_0 = 1,5 \cdot 21 = 31,5 \text{ mm} \Rightarrow e_2 = 35 \text{ mm}$$

$$p_2 \geq 3,0 \cdot d_0 = 3,0 \cdot 21 = 63 \text{ mm} \Rightarrow p_2 = 230 \text{ mm}$$

Posouzení šroubového spoje

Únosnost šroubu ve střihu

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_V \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 0,245 \cdot 1000}{1,25} = 98,00 \text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} = 98,00 \text{ kN} \geq F_{V,Ed,1} = 52,70 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu a styčnickového plechu v otláčení

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{45}{3 \cdot 21}; \frac{217}{3 \cdot 21} - \frac{1}{4}; \frac{1000}{510}; 1 \right\} = \min\{0,714; 3,194; 1,96; 1\} = 0,714$$

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot 35}{21} - 1,7; 2,5 \right\} = \min\{2,97; 2,5\} = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot t \cdot d}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,714 \cdot 510 \cdot 12 \cdot 20}{1,25} = 174,79 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 174,79 \text{ kN} \geq F_{b,Ed,1} = 52,70 \text{ kN}$$

Únosnost v protlačení

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 32,3 \cdot 12 \cdot 510}{1,25} = 298,08 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 298,08 \text{ kN} \geq B_{p,Ed,1} = 73,67 \text{ kN}$$

Posouzení náhradního T profilu*1) Porušení desky*

$$m = 36 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 36 - 0,8 \cdot 5 \cdot \sqrt{2} = 30,3 \text{ mm}$$

$$L_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 30,34 = 190,7 \text{ mm}$$

$$L_{eff,op} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 30,34 + 1,25 \cdot 35 = 165,1 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = \min\{L_{eff,cp}; L_{eff,op}\} = \min\{190,7; 165,1\} = 165,1 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 165,1 \cdot 12^2 \cdot 355}{1,0} = 2,11 \text{ kNm}$$

$$F_{T,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{2 \cdot 2,11}{30,3} = 139,27 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = 139,27 \text{ kN} \geq F_{T,Ed,1} = 73,67 \text{ kN}$$

2) Porušení desky a šroubů - páčení

$$n = \min\{e; 1,25 \cdot m\} = \min\{35; 1,25 \cdot 30,3\} = \min\{30; 37,9\} = 35 \text{ mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 165,1 \cdot 12^2 \cdot 355}{1,0} = 2,11 \text{ kNm}$$

$$F_{T,Rd} = \frac{M_{pl,1,Rd} + n \cdot F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2,11 + 0,035 \cdot 176,4}{0,0303 + 0,035} = 126,86 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = 126,86 \text{ kN} \geq F_{T,Ed,1} = 73,67 \text{ kN}$$

3) Únosnost v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 0,245}{1,25} = 176,40 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 176,40 \text{ kN} \geq F_{T,Ed,1} = 73,67 \text{ kN}$$

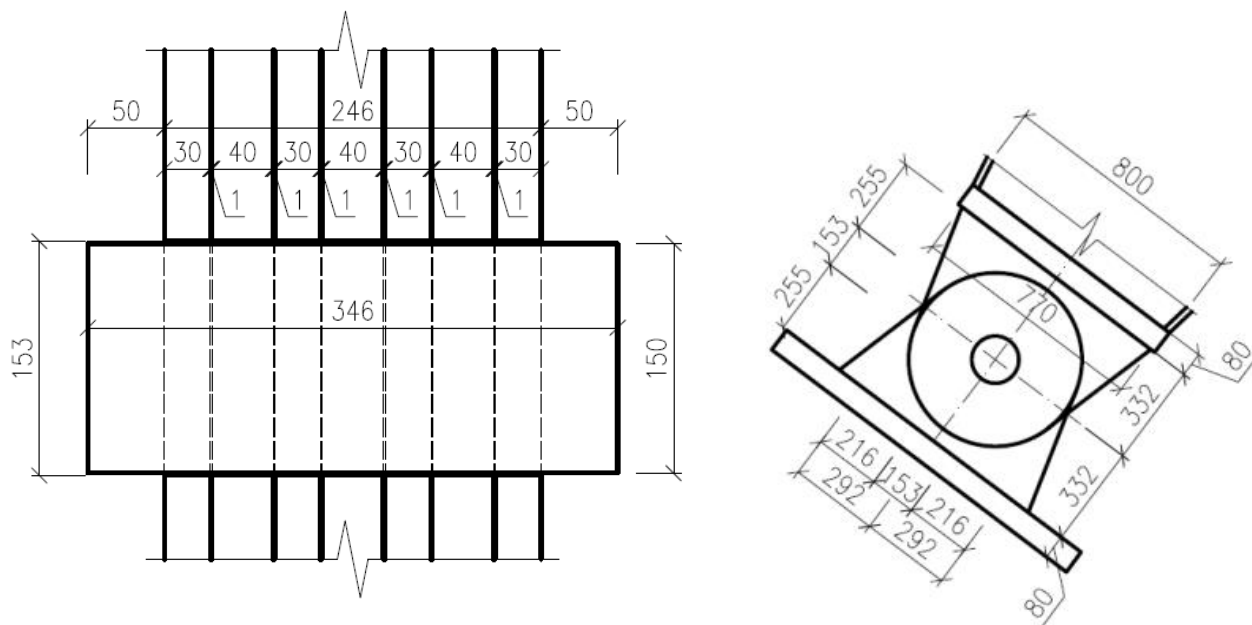
Kombinace stříhu a tahu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{52,70}{98,00} + \frac{73,67}{1,4 \cdot 176,40} \leq 1,0$$

$$0,84 \leq 1,0$$

9.7 Posouzení kotevního čepu nosného oblouku



Návrhová síla K53

$$F_{V,Ed} = 8\,672\text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Připojovaný materiál S355

$$f_y = 355\text{ MPa}$$

$$f_u = 510\text{ MPa}$$

$$E = 210\text{ GPa}$$

Čep 6.8

$$f_{ub} = 480\text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 600\text{ MPa}$$

Geometrie:

$$d = 150\text{ mm}$$

6 rovin stříhu

Posouzení

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{8,672 \cdot 1,00}{335}} = 112,63\text{ mm} \Rightarrow t = 120\text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{8,672 \cdot 1,00}{2 \cdot 0,12 \cdot 335} + \frac{2 \cdot 0,153}{3} = 203,78\text{ mm} \Rightarrow a = 205\text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{8,672 \cdot 1,00}{2 \cdot 0,12 \cdot 335} + \frac{0,153}{3} = 152,78\text{ mm} \Rightarrow c = 160\text{ mm}$$

$$F_{V,Rd} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot f_{up}}{4 \cdot \gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot \pi \cdot 0,15^2 \cdot 600}{4 \cdot 1,25} = 10\,178,76\text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} = 10\,178,76\text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 8\,672\text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 120 \cdot 0,15 \cdot 335}{1,00} = 9\,045,00 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 9\,045,00 \text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 8\,672 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{V,Ed}}{8} \cdot (t + 4 \cdot t_0 + 2 \cdot t_1) = \frac{8,672}{8} \cdot (40 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 30) = 112,74 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 0,3244 \cdot 480}{1,00} = 233,57 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 233,57 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 112,74 \text{ kNm}$$

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$\left[\frac{112,74}{233,57} \right]^2 + \left[\frac{8\,672,00}{10\,178,76} \right]^2 \leq 1,0$$

$$0,96 \leq 1,0$$

9.8 Montážní přípoj dolního pásu v polovině rozpětí

Vnitřní síly pro posouzení svaru a šroubu K52:

$$F_{v,Ed} = 727,80 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,1} = \frac{F_{v,Ed}}{8} = 90,98 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Připojovaný materiál S355

Šrouby 8 x M16 10.9

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 900 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Geometrie:

Šrouby:

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 17 \text{ mm}$$

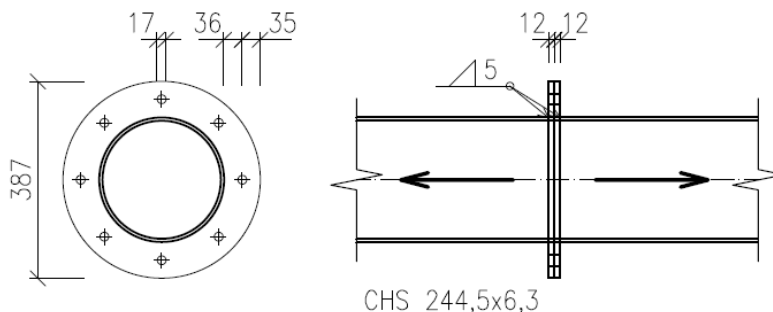
$$d_m = 25,85 \text{ mm}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

Styčnickový plech:

$$t = 12 \text{ mm}$$

$$e_1 \geq 2,0 \cdot d_0 = 2,0 \cdot 17 = 34,0 \text{ mm} \Rightarrow e_1 = 35 \text{ mm}$$



Únosnost v protlačení

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 25,85 \cdot 12 \cdot 510}{1,25} = 238,56 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 238,56 \text{ kN} \geq B_{p,Ed} = 90,98 \text{ kN}$$

Posouzení náhradního T profilu*1) Porušení desky*

$$m = 36 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 36 - 0,8 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 31,5 \text{ mm}$$

$$L_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 31,5 = 197,9 \text{ mm}$$

$$L_{eff,op} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 31,5 + 1,25 \cdot 35 = 169,8 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = \min\{L_{eff,cp}; L_{eff,op}\} = \min\{197,9; 169,8\} = 169,8 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 169,8 \cdot 12^2 \cdot 355}{1,0} = 2,17 \text{ kNm}$$

$$F_{T,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{2 \cdot 2,17}{31,5} = 137,78 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = 137,78 \text{ kN} \geq F_{T,Ed} = 90,98 \text{ kN}$$

2) Porušení desky a šroubů - páčení

$$n = \min\{e; 1,25 \cdot m\} = \min\{35; 1,25 \cdot 31,5\} = \min\{35; 39,4\} = 35 \text{ mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 169,8 \cdot 12^2 \cdot 355}{1,0} = 2,17 \text{ kNm}$$

$$F_{T,Rd} = \frac{M_{pl,1,Rd} + n \cdot F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2,17 + 0,035 \cdot 113,04}{0,0315 + 0,035} = 92,13 \text{ kN}$$

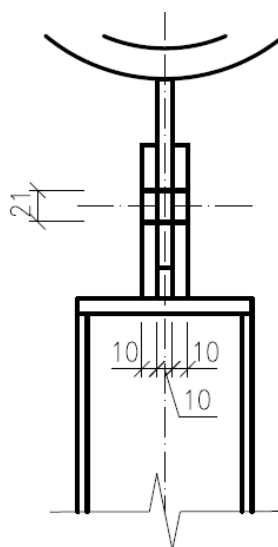
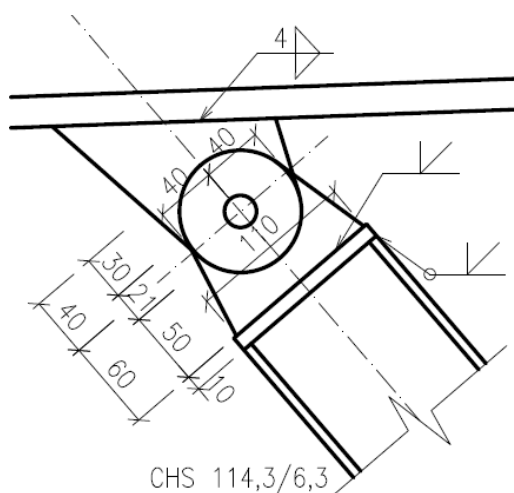
$$F_{T,Rd} = 92,13 \text{ kN} \geq F_{T,Ed} = 90,98 \text{ kN}$$

3) Únosnost v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_S}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 0,157}{1,25} = 113,04 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 113,04 \text{ kN} \geq F_{t,Ed} = 90,98 \text{ kN}$$

9.9 Montážní připojení diagonály ve vazníku



Vnitřní síly pro posouzení svaru a šroubu K52:

$$F_{v,Ed} = 125,21 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky:

Připojovaný materiál S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Šroub M20 8.8

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

Geometrie:

Šrouby:

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$d_0 = 21 \text{ mm}$$

$$d_m = 32,3 \text{ mm}$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

Styčnickový plech:

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$e_1 \geq 2,0 \cdot d_0 = 2,0 \cdot 21 = 42,0 \text{ mm} \Rightarrow e_1 = 35 \text{ mm}$$

$$e_2 \geq 1,5 \cdot d_0 = 1,5 \cdot 21 = 31,5 \text{ mm} \Rightarrow e_2 = 35 \text{ mm}$$

Posouzení šroubového spoje

Únosnost šroubu ve střihu

$$F_{V,Rd} = \frac{n \cdot \alpha_V \cdot A_S \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 0,245 \cdot 800}{1,25} = 188,16 \text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} = 188,16 \text{ kN} \geq F_{V,Ed} = 125,21 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu a styčnickového plechu v otláčení

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{40}{3 \cdot 21}; \frac{800}{510}; 1 \right\} = \min \{0,635; 1,57; 1\} = 0,397$$

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot 35}{21} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{2,97; 2,5\} = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot t \cdot d}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,635 \cdot 510 \cdot 10 \cdot 20}{1,25} = 129,52 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 129,52 \text{ kN} \geq F_{b,Ed} = 125,21 \text{ kN}$$

Posouzení svaru

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm} \Rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 110 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 110 \cdot 4 = 440 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{Ed}}{A \cdot 2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{125,21}{2 \cdot 0,44 \cdot \sqrt{2}} = 100,61 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{100,61^2 + 3 \cdot 100,61^2} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$201,22 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa}$$

10 Seznam použitých zdrojů

Normy

- [1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, březen 2004. 76 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, březen 2004. 44 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, červen 2005. 52 s.
- [4] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, duben 2007. 124 s.
- [5] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006. 96 s.
- [6] ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006. 128 s.

Literatura

- [7] MELCHER, Jindřich a STRAKA, Bohumil. *Kovové konstrukce: konstrukce průmyslových budov*, 5., nezm. vyd. Praha: SNTL, 1985. 217 s.
- [8] WALD et al. *Prvky ocelových konstrukcí: Příklady podle Eurokódů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 159 s. ISBN 80-01-01623-4.
- [9] KARMAZÍNOVÁ, M., *Prvky kovových konstrukcí, MODUL B001 – M02, Spoje kovových konstrukcí*, studijní opory, Brno, 2005, 48 s.

Internetové zdroje

- [10] JANATA, Vladimír, Jindřich BERAN a Štěpán BÉM. *Ocelová konstrukce zastřešení zimního stadionu v Chomutově. Časopis stavebnictví* [online]. 2010, roč. 10, č. 05 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=3431>
- [11] JANATA, Vladimír. *Předpjaté ocelové konstrukce. Časopis Konstrukce* [online]. 2010 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/predpjate-ocelove-konstrukce/>
- [12] *Ferona, a.s.* [online]. 2014 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/index.php>
- [13] HRŮZA, Jiří. *Ocelář.cz* [online]. 2010 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://www.steelcalc.com/cs/default.aspx>
- [14] HILTI CORPORATION. *Hilti* [online]. 2011 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://www.hilti.cz/holcz/>
- [15] KAISER, Petr. *Ocelové konstrukce v praxi* [online]. 2010 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://ocelvpraxi.cz/>
- [16] KAISER, Petr a Tomáš VOKATÝ. *Čítanka ocelových konstrukcí* [online]. 2006 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://citankaok.wz.cz/>
- [17] RÖDER, Václav. *Spoje ocelových konstrukcí* [online]. 2010 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://ocel.wz.cz/>
- [18] TENSION SYSTEMS, s.r.o. *Systém konstrukčních táhel Macalloy* [online]. 2009 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://www.tension.cz/>
- [19] KINGSPAN A.S. *Kingspan* [online]. 2014 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://panely.kingspan.cz/sendvicove-panely-zatepleni-izolace-oplasteni-1725.html>

11 Seznam příloh

01	Přehledné výkresy	M 1:200/1:20/1:10
02	Kotevní plán	M 1:200/1:10
03	Výrobní výkres vazníku	M 1:20/1:10/1:5
04	Výrobní výkres vazníku	M 1:20
05	Výrobní výkres podélného ztužidla	M 1:20/1:5

12 Systém značení výkresové dokumentace

Vazník

Dílec	D1xx
Položka	E1xx

Podélné ztužidlo

Dílec	U1xx
Položka	V1x

Příčné ztužidlo

Dílec	P1xx
Položka	P1xx

Sloup

Dílec	S1xx
Položka	S1xx

Oblouk

Dílec	O1xx
Položka	O1xx

Táhlo

Dílec	K1xx
Položka	K1xx

Paždík

Dílec	R1xx
Položka	R1x

Plech

Dílec	F1xx
Položka	F1xx